Aus der Universitäts - Kinderklinik A Düsseldorf
(Direktor: Prof. Dr. med. G. - A. von Harnack)

Die Anwendbarkeit der Bestimmungsmethoden des Skelettalters bei westdeutschen Kindern mit normalem und mit abweichendem Wachstumsverlauf

Habilitationsschrift
zur Erlangung der Venia legendi
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf
vorgelegt von

Dr. med. Helmut Kemperdick

1979

1980

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543926_0033

Aus der Universitäts - Kinderklinik A Düsseldorf
(Direktor: Prof. Dr. med. G. - A. von Harnack)

Die Anwendbarkeit der Bestimmungsmethoden des Skelettalters bei westdeutschen Kindern mit normalem und mit abweichendem Wachstumsverlauf.

Habilitationsschrift
zur Erlangung der Venia legendi
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf
vorgelegt von

Dr. med. Helmut Kemperdick

1979

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Inhaltsverzeichnis:

1.	Einleitung	1
2.	Problemstellung	8
2.1	Methodenauswahl; Repräsentativität der linken Hand; Strahlenbelastung	9
2.2	Die Methodik von GREULICH-PYLE	20
2.3	Die Methodik von TANNER-WHITEHOUSE	23
3.	Eigene Untersuchungen	27
4.	Ergebnisse und Diskussion der Ergebnisse	38
4.1	Die praktische Durchführbarkeit der Skelettalterbestimmungsmethode	38
4.2	Der Intrabeurteiler-Fehler	40
4.3	Der Interbeurteiler-Fehler	48
4.4	Diskussion der Ergebnisse: Intrabeurteiler-Fehler und Interbeurteiler-Fehler	52
4.5	Die Übereinstimmung von Lebensalter und Skelettalter	59
4.6	Die Übereinstimmung von Größenalter und Skelettalter und von Gewichtsalter und Skelettalter	66
4.7	Diskussion der Ergebnisse: Vergleich von Lebensalter und Skelettalter	69
4.8	Diskussion aller Ergebnisse: Skelettalterbestimmungsmethoden, die am besten für die Anwendung bei westdeutschen Kindern geeignet sind	82
4.9	Die Anwendbarkeit der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode und der TANNER-RUS-Methode bei groß- und kleinwüchsigen Kindern	89
4.9.1	Die Übereinstimmung des Skelettalters mit dem Lebensalter, Größenalter und Gewichtsalter	89

4.9.2 Vergleich des Skelettreifungsverhaltens bei groß- und minderwüchsigen Kindern im Gegensatz zu normalwüchsigen 96

5. Zusammenfassung 102

6. Abbildungen 107

7. Anhang-Tabellen 139

8. Literaturverzeichnis 141

1. EINLEITUNG:

Durch die Entdeckung der Röntgenstrahlen im Jahre 1895 wurde es möglich, intravital die entwicklungsbedingten Veränderungen des Skelettsystems sichtbar zu machen.
Erstmals 1898 berichtete der Münchner Pädiater H. von RANKE (125) vor der Sektion für Kinderheilkunde auf der Naturforscherversammlung in Düsseldorf über seine Untersuchungen zur Ossifikation der Hand unter "Röntgenbeleuchtung".
Hiermit war der Grundstein gelegt für zahlreiche weitere Arbeiten zur Systematisierung der Skelettentwicklung. Nur durch die Erforschung der Gesetzmäßigkeiten dieser Entwicklungsabläufe konnte eine Skelettalterbestimmung Wirklichkeit werden.
1920/21 untersuchte STETTNER (158, 159) die Beziehungen der Ossifikation des Handskeletts zu Alter und Längenwachstum sowie den Einfluß von Erkrankungen.
1927 veröffentlichte MUNK (112) eine Methode der Skelettalterbestimmung nach der Größe der Carpalia sowie von Radius und Ulna.
Der erste praktische Führer für den Kliniker war jedoch der Atlas zur Skelettalterbestimmung aufgrund von Röntgenaufnahmen der Hand von TODD (174) im Jahre 1937. Dieser setzte sich allgemein sehr rasch durch und wurde nach dem zweiten Weltkrieg völlig überarbeitet als Atlas von GREULICH und PYLE: "Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist" (64) fortgeführt.
Methoden zur Skelettalterbestimmung, bei denen mehrere Körperregionen zur Beurteilung herangezogen wurden, konnten sich aus praktischen und Strahlenschutzgründen nicht durchsetzen.

1952 stellten BAYLEY und PINNEAU (17) auf der Grundlage der Skelettalterbestimmung nach GREULICH-PYLE (64) als Erste Endgrößen-Vorhersagetabellen auf.
1962 wurde von TANNER, WHITEHOUSE und Mitarbeitern (166) eine weitere Methode der Skelettalterbestimmung in die Diagnostik eingeführt: Die Knochen der Hand und des Handgelenks werden einzeln nach 8 bis 9 Stadien, den sogenannten Score-Werten, klassifiziert.
Diese Methode wurde in überarbeiteter und abgeänderter Form 1975 als sogenannte TW 2 - Methode publiziert (169).
Bei allen Skelettalterbestimmungen müssen Differenzierungen zwischen Jungen und Mädchen vorgenommen werden, da die Mädchen gegenüber den Jungen in der Skelettentwicklung von der Geburt an vorauseilen (167) und das Wachstumsende auch etwa zwei Jahre früher eintritt als bei Jungen. Das durchschnittliche Ende des Wachstums liegt beim männlichen Geschlecht bei 21,2 Jahren und beim weiblichen bei 17,3 Jahren (139). Allerdings wachsen Knaben nach dem 18. Lebensjahr auch nur noch ca. einen Zentimeter (119, 139).
Über die Ursachen der Tatsache, daß Mädchen den Jungen in der Skelettentwicklung voraus sind, wurden wiederholt Untersuchungen angestellt und Hypothesen aufgestellt. TANNER und Mitarbeiter (165) veröffentlichten 1959 eine Studie über 27 Patienten mit Klinefelter und Turner-Syndrom, die im Alter von sechs bis achtzehn Jahren beobachtet wurden. Diese Autoren fanden, daß die Skelettentwicklung beim Klinefelter-Syndrom mit XXY-Konstellation der Chromosomen derjenigen der normalen Jungen und die beim Turner-Syndrom mit XO-Konstella-

tion derjenigen normaler Mädchen entspricht. Daraus wird der Schluß gezogen, daß das Y-Chromosom verantwortlich ist für die Geschlechtsunterschiede in der Skelettentwicklung beim Menschen und Primaten. Andere Autoren (52, 53) glauben, daß durch das X-Chromosom zumindest präpuberal eine Beeinflussung der Entwicklungszeiten stattfindet. Diese These stützt sich auf Untersuchungen an Schwestern im Alter zwischen 1,0 und 7,0 Jahren, bei denen eine große Übereinstimmung in der Zahl der Knochenkerne und dem Zeitpunkt ihres Erscheinens gefunden wurde. Dies könne dadurch bedingt sein, daß Schwestern das gleiche X-Chromosom des Vaters haben.

Die Skelettentwicklung ist aber sicherlich nicht nur genetisch vorherbestimmt, wenn auch die Vererbung einen wesentlichen Faktor darstellt.

Wesentlichen Einfluß auf die Knochenreifung haben das Wachstumshormon, die Schilddrüsenhormone, die Androgene und Östrogene (18). Diese Hormoneinflüsse unterliegen individuellen Unterschieden. Im wesentlichen hormonell bedingt sein dürfte auch der bei Mädchen früher als bei Jungen einsetzende Pubertätswachstumsschub, der mit einer Beschleunigung der Skelettreifung einhergeht (74).

In diesem Zusammenhang muß erwähnt werden, daß der Verschluß der Fingerepiphysen und der Kniegelenksepiphysen um bis zu zwei Jahre differieren kann. Dies erklärt, daß auch nach anscheinend vollständiger Skelettreifung (aufgrund der Beurteilung der Verhältnisse an der Hand) noch ein weiteres, wenn auch geringes Wachstum erfolgen kann, das nach GARN, ROHMAN und APFELBAUM (49) gelegentlich bis zu fünf Zentimeter beträgt.

Die Skelettalterbestimmung ist für viele Fragestellung von großer diagnostischer Bedeutung (72), insbesondere bei den zahlreichen Störungen des kindlichen Wachstums. Zudem kann die Skelettreifung typische Veränderungen zeigen, die wichtig sind sowohl für die Diagnose wie die Diffenrentialdiagnose. (18).

Daher hat das Skelettalter als Entwicklungsparameter einen wichtigen Platz in der Pädiatrie erlangt. Man hat erkannt, daß das chronologische Alter nicht ausreicht, um den Entwicklungszustand eines wachsenden Kindes zu bestimmen, sondern daß zur Beurteilung des physiologischen Alters weitere Kriterien erforderlich sind.
Während Größe und Gewicht zwar ein guter Indikator des "Massenwachstums" sind, ist das Skelettalter ein guter Indikator der somatischen Reifung (72). Dem entspricht auch, daß Skelettwachstum und -entwicklung weitgehend unabhängig voneinander fortschreiten (85). Ebenso wird der Reifegrad des Skeletts nicht nur durch die Anzahl der Knochenzentren und Epiphysen bestimmt, sondern auch nach dem jeweiligen Differenzierungsgrad (167).

Heute wird das Skelettalter allgemein neben Zahnalter, morphologischem Alter (beinhaltet z.B. Gestalt und Körperlänge) oder Proportionsalter am häufigsten als Indikator für die Wachstumsprozesse des Gesamtorganismus benutzt (148).

Nach Beginn der Pubertät kann als zusätzlicher Parameter auch die Beurteilung der sekundären Geschlechtsmerkmale herangezogen werden, um das Entwicklungsalter bzw. die physiologische Reife zu charakterisieren (167). Wahrscheinlich ist hierfür der Grad der Skelettreife sogar das beste Kriterium (89).

Auch BIERICH (18) ist der Meinung, daß nicht das chronologische-, sondern das Skelettalter entscheidend die biologische Gesamtreife des Organismus reflektiert. Dies entspricht der Auffassung von PRADER (22), daß Wachstums- und Pubertätsverlauf eine bessere Korrelation mit dem Knochenalter als mit dem chronologischen Alter zeigen und daß das Skelettalter deshalb ein brauchbarer Maßstab für das biologische Alter ist.

Das Skelettalter scheint ein sehr verläßlicher Indikator für die Reifung anderer Körpersysteme zu sein (148). Als beweisend wird z.B. die positive Korrelation mit dem Zahnalter, dem Zeitpunkt der Menarche und dem erreichten Prozentsatz der Erwachsenengröße angesehen (128). Auch mit der Größe während des Wachstums in der Adoleszenz korreliert das Skelettalter gut (101).
Wenn auch nach Ansicht von PRYOR (119) sowie GARN und Mitarbeitern (56) die Folge der auf Röntgenbildern sichtbaren Reifungsprozesse weit davon entfernt ist, fixiert zu sein, und man individuell eine große Variabilität finden kann (47, 51), so beruht die Verläßlichkeit des Skelettalters doch nicht zuletzt darauf, daß sich bei der Mehrzahl der Menschen in verhältnismäßig konstanter Reihenfolge Knochenkerne und Epiphysen ausbilden (167). Auch akzellerierte oder retardierte Kinder zeigen in dieser Hinsicht keine sicheren Unterschiede im Vergleich zu den Durchschnittskindern (121). Ebenso verschmelzen die Epiphysen in regelhafter Reihenfolge (167).
Da die Gesetzmäßigkeiten der Ossifikationsverläufe, die sich in engen Grenzen halten, heute gut bekannt sind, ist die Bestimmung des Skelettalters das objektivste Kriterium der Gesamtentwicklung (147).

Aufgrund dieser Feststellung ist es nicht verwunderlich, daß das Skelettalter, in diesem Fall das Einsetzen des Epiphysenfugenverschlusses, besser mit dem Beginn der Menarche korreliert als das chronologische Alter, das Größenalter, das Gewichtsalter oder auch der jährliche Wachstumszuwachs (61,69,72,156).
Das Auftreten des Sesamoids in der Sehne des Musculus adductor pollicis weist nach allgemeiner Ansicht darauf hin, daß mit dem Auftreten der Menarche in etwa zwei Jahren zu rechnen ist (13, 72). Hierdurch können leicht Mädchen mit frühem, durchschnittlichem und spätem Menarcheeintritt differenziert werden.
Diese Feststellungen sind wichtig für die Diagnostik und Therapie bei Endokrinopathien und Wachstumsstörungen sowie für Aussagen über die spätere Erwachsenengröße von Kindern.

Sozioökonomische Faktoren, Gewichtsverhalten sowie Krankheiten spielen eine wesentliche Rolle für die Skelettentwicklung. Wenn ACHESON (1) sogar feststellte, daß leichtere Kinder eine langsamere Skelettreifung haben als schwerere, so verwundert es nicht, daß bei länger dauernden Hungerzuständen und Erkrankungen wie z.B. Coeliakie, Hypothyreose, Cushing-Syndrom, Nierenerkrankungen etc. ein deutliches Zurückbleiben der Skelettentwicklung auftritt. Dies ist somit auf Mangelernährung oder hormonelle Einflüsse zurückzuführen.
Der Mechanismus der Beeinflussung der Skelettentwicklung durch diese Faktoren ist ebensowenig vollständig geklärt wie die erstaunliche Tatsache, daß nach Korrektur bzw. Behandlung von Erkrankung oder Unterernährung ein sogenanntes "Catch-up" (Aufholwachstum) stattfindet. Das Kind kann dann eine um das Vierfache

beschleunigte Wachstumsrate und auch eine um das Zwei- bis Dreifache beschleunigte Rate der Skelettreifung zeigen. Ungelöst ist auch die Frage, warum das sogenannte "Catch-up" zeitlich begrenzt ist (117).
Auch die Ursache der unterschiedlichen Reaktion der einzelnen Skelettanteile der Hand auf chronische Unterernährung bzw. Diätkorrektur ist nicht genau bekannt. Mittel- und Endphalangen zeigen die stärkste, Capitatum und Hamatum die geringste Reaktion, möglicherweise bedingt durch unterschiedliche Schnelligkeit des Wachstums der Knochen (30).

Trotz der Komplexität der Vorgänge, die sich in der Skelettentwicklung widerspiegeln und mancher noch ungelöster Probleme, ist die Skelettalterbeurteilung heute ein unentbehrliches Hilfsmittel in der klinischen Diagnostik, Differentialdiagnostik und Therapie sowie in der wachstumsphysiologischen Forschung (18, 114).

2. PROBLEMSTELLUNG:

Von vielen Autoren (64, 89, 90, 93, 137, 150, 169) wurde die Ansicht geäußert, daß wegen der unterschiedlichen Populationen, für die bestimmte Skelettalterbestimmungsmethoden und Skelettalterstandards entwickelt wurden, vor der Einführung bzw. Übernahme einer Methode, Modifikationen und Anpassungen der Skelettalterskalen für die jeweilige Population durchgeführt oder eigene Normwerte erarbeitet werden müssen.

Begründet wird dies mit rassischen Differenzen des Wachstums, der mittleren Größe, des mittleren Gewichts und des Beginns der Pubertät (55, 64). Daneben spielen Umweltfaktoren, insbesondere der Lebensstandard, die Ernährungsbedingungen und die Häufigkeit von Erkrankungen eine wichtige Rolle.
Bis jetzt existieren keine Untersuchungen darüber, ob Skelettalterbestimmungsmethoden, die bei westdeutschen Kindern (Düsseldorfer Raum) angewandt werden, auch tatsächlich auf unsere Bevölkerung übertragbar sind.

Die Ermittlung des Skelettalters ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn die gewählte Methode tatsächlich für ein gesundes, normalgroßes Kind auch das richtige Skelettalter bestimmt. Dazu muß bekannt sein, wie weit die Skelettentwicklung der Jungen und Mädchen in einem bestimmten Alter fortgeschritten ist. Andernfalls könnte die Skelettentwicklung eines Kindes fälschlicherweise als retardiert oder auch akzelleriert bezeichnet werden. Diese falsche Interpretation würde evtl. zu falschen diagnostischen oder therapeutischen Schlüssen führen. Auch für die besonders bei groß- und minderwüchsigen Kindern interessante Berechnung der Erwaschsenengröße ist ein

realer Skelettalterwert, der den tatsächlichen Reifegrad des Skeletts eines bestimmten Kindes angibt, ein wesentlicher Parameter. Beim Arbeiten mit den Größenvorhersagetabellen, z.B. von BAYLEY und PINNEAU (17), kann man erfahren, daß wesentliche Unterschiede in der Endgrößenvorhersage bestehen, je nachdem ob ein Kind als normal, akzelleriert oder retardiert eingestuft wird. Als "average" oder normal wird bei dieser Methode ein Bereich für das Skelettalter angegeben, der +/- 1 Jahr um das Lebensalter liegt.

Wiederholt wurden Untersuchungen über die Anwendbarkeit verschiedener Skelettalterbestimmungsmethoden bei unterschiedlichen Bevölkerungen durchgeführt.
Wenn auch teilweise gute Übereinstimmung zwischen verschiedenen Populationen gefunden wurden (35, 64,108,130,131,169), so zeigen andere Untersuchungen doch, daß sehr große Unterschiede in der Skelettreifung bestehen können (7,19,25,43,59,62,118, 163). Diese Unterschiede müssen Veranlassung sein, für jede Bevölkerung die Skelettalterbestimmungsmethode zu finden, die auf diese am besten übertragbar ist oder dieser am besten angepasst werden kann.

2.1 Methodenauswahl:

Zunächst ergibt sich die Notwendigkeit, aus der Vielzahl der publizierten Skelettalterbestimmungsmethoden diejenige zu ermitteln, die methodisch sinnvoll und auch praktisch gut anwendbar sind.
Es lassen sich quantitative, chronologische, metrische, qualitative und gemischte Methoden unterscheiden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Skelettalterbestimmungsmethoden:

Methodik	Jahr	Autoren
Quantitativ	1951	REYNOLDS und ASAKAVA
	1956	LEFEBVRE und KOIFMAN
Chronologisch	1939	FRANCIS und WERLE
	1946	ELGENMARK
	1952	HARDING
	1956	LEFEBVRE und KOIFMAN
	1962	HANSMAN
	1970	GEFFERTH
	1974	DAS GUPTA
Metrisch	1927	MUNK
	1957	MAINLAND
	1960	SCHMID und MOLL
	1967	EKLÖR und RINGERTZ
	1973	PUCCINELLI
Qualitativ	1937	TODD
(meist gemischt:	1948	PYLE und Mitarbeiter
qualitativ-quan-	1950/59	GREULICH und PYLE
titativ oder	1950	SCHINZ (Hrsgb.)
qualitativ-	1957	ACHESON
chronologisch)	1962	CLARKE und HAYMAN
	1962	SAUVEGRAIN und Mitarbeiter
	1962	TANNER und Mitarbeiter
	1967	KAPALIN
	1969	PYLE und HOERR
	1971	MURRAY
	1972	GRAHAM
	1974	HAAVIKKO
	1975	TANNER und Mitarbeiter
	1976	TARANGER

Bei den quantitativen oder numerischen Methoden (95, 126) wird das Skelettalter nach der Zahl der angelegten Knochenkerne bestimmt. Diese Methoden sind meist nur für bestimmte Altersgruppen verwendbar. Schon bedingt durch diese eingeschränkte Verwendbarkeit spielen sie keine wesentliche Rolle und können außeracht gelassen werden.
Die chronologischen Methoden (29,34,41,57,68,70, 95) beruhen auf der Feststellung des zeitlichen Auftretens der Knochenkerne und evtl. des Verschlusses der Epiphysenfugen. Beide genannten Kriterien dieser Methoden sind zwar wichtig, ergeben aber keine vollständige Aussage über die Skelettreifung, da die hiermit verbundenen Formveränderungen der Knochenkerne nicht berücksichtigt werden.
Die metrischen Methoden (33,104,112,120,151) beruhen meist auf Höhen- und Breitenmessungen der Knochenkerne bzw. auf planimetrischen Flächenbestimmungen. Hierdurch wird eine gute Aussage über das Größenwachstum der Knochenkerne vermittelt. Die Reifung der Knochenkerne wird aber nicht alleine durch die Größenzunahme, die bei gesunden Kindern sehr unterschiedlich sein kann, sondern insbesondere durch den Gestaltwandel der Kerne charakterisiert. Daher sind die Resultate dieser Methoden enttäuschend (58). Planimetrische Methoden, gegen die allerdings die gleichen prinzipiellen Argumente gelten, sollen brauchbarer sein als die einfache lineare Auswertung (153).

Nach Ablehnung der drei genannten Arten des Vorgehens bei der Skelettalterbestimmung können nur die

qualitativen Methoden (26,64,67,83,113,122,124,145, 146,169,171) sinnvoll sein, da für diese die erkennbaren Reifungsprozesse an den Knochenkernen die wesentlichen Parameter sind. Bewertet wird bei diesen Methoden, die daher meist als gemischte, z.B. qualitativ-quantitative (64, 169) oder -chronologische (2, 5) Methoden zu bezeichnen sind, jedoch auch das Fehlen oder Vorhandensein der Knochenkerne in einem bestimmten Alter.
Quantitative und chronologische Methoden berücksichtigen die Reifungsprozesse der Knochenkerne zu wenig, metrische Methoden werden zusehr von der Größe des Skeletts beeinflußt. Einige dieser Methoden sind auch aus praktischen und Strahlenschutzgründen abzulehnen, da zur Bewertung mehrere Skelettabschnitte geröngt werden müssen.
Die Auswahl der geeigneten Methode muß daher unter den vorwiegend qualitativen getroffen werden.
Abzulehnen ist von diesen Methoden wegen der zu hohen Strahlenbelastung die sogenannte Oxford-Methode (2), da bei dieser u.a. das Becken geröngt werden muß. Insbesondere bei evtl. nötigen Kontrolluntersuchungen würde eine zu hohe Gonadenbelastung entstehen. Auch bei der Methode von GRAHAM (58) müssen mehrere Skelettabschnitte beurteilt werden.
Die Ablehnung einer Methodik, bei der mehrere Skelettabschnitte untersucht werden müssen, kann jedoch nur erfolgen, wenn hinreichende Sicherheit besteht, daß ein Skelettabschnitt alleine auch wirklich die Reifung des Gesamtskeletts genügend exakt widergibt.

Daher ist die Wahl der Skelettregion, die für die Skelettalterbestimmung zu röntgen ist, oft diskutiert worden (46,48,54,55).
Kein Zweifel besteht, daß die Hand am leichtesten und auch mit der geringsten Strahlendosisbelastung zu

röntgen ist. Ein wichtiges Kriterium ist die Frage, ob die Hand repräsentativ für die Skelettreifung insgesamt ist oder ob die Fehlerbreite des Handskelett-Entwicklungsalters gegenüber der Reife des übrigen Skeletts zu groß ist. Hierüber sind die Ansichten geteilt.
Während HANSMAN und MARESH (69), SCHMID und MOLL (151), MOLL (110), SCHMID (150), STUART und Mitarbeiter (161), PELECH und PECHSTEIN (115), COBB (27), PRYOR (119) und ROCHE (128) der Meinung sind, daß die Hand zur genauen Skelettalterangabe ausreicht, glauben ELGENMARK (34), LEE (93), AMBUEL (8), ACHESON (1) sowie GARN und Mitarbeiter (54, 55), daß die Hand als Teil des Skeletts kein gültiger Ersatz für das gesamte Skelett ist.
Im Gegensatz zu LEE (93), der eine deutliche Reifungsimbalanz zwischen Knochen verschiedener Regionen feststellte und zu GARN und Mitarbeitern (54), die in Extremfällen eine Abweichung von bis zu zwei Jahren und mehr bei Bestimmung des Skelettalters aufgrund der Hand allein gegenüber Bestimmungen von insgesamt sechs Körperabschnitten fanden, beobachteten andere Autoren (115, 161) eine nahe Beziehung zwischen dem jeweiligen Niveau der Ausreifung beliebiger Teile des Skeletts (Schulter, Ellenbogen, Handgelenk, Hüfte, Knie und Fuß).
ROCHE und FRENCH (135) verglichen bei gesunden 6- bis 15-jährigen Jungen und Mädchen das Skelettalter der Hand (GREULICH-PYLE-Methode (64)) mit dem Knochenalter des Knies (Atlasmethode von PYLE und HOERR (124)). Die durchschnittliche Differenz war Null. Die Hälfte der Vergleiche lag innerhalb von +/- 0,2 Jahren. Die maximale Differenz betrug 1,2 Jahre.

Diese Differenzen sind jedoch nicht größer als die, die bei wiederholter Bestimmung aufgrund der gleichen Röntgenaufnahme der Hand vorkommen. Es dürfte ungewöhnlich für eine seperate Reihe des Skeletts sein, stark in der Reifung zu differieren (128). Schon 1925 beobachtete PRYLOR (119), daß der Verschluß der Epiphysenfugen der Hand korrespondierend die Fusion aller Epiphysen anzeigt. Nach GARN und Mitarbeitern (49) findet die Fusion der proximalen Tibiaepiphyse und der kleinen Epiphysen der Hand innerhalb eines Zeitraumes von +/- einem Jahr statt. Nach TANNER, WHITEHOUSE und Mitarbeitern (169) erfolgt die Fusion der proximalen Tibia, wenn nach dem TANNER-RUS-Score der sogenannte "adult"-Status erreicht ist.

Diese Feststellungen sind gerade auch für die Größenverhersagemethoden, die u.a. auf der Skelettalterbestimmung der Hand berunen, wichtig. Zweifellos können hierbei Irrtümer auftreten, wenn im Einzelfall eine größere Differenz zwischen Epiphysenfugenverschluß an Hand und Knie besteht.

Als Kompromiss könnte der Vorschlag von GARN und Mitarbeitern (54, 55) angesehen werden, Hand und Fuß zu bewerten, für die sie eine Liste der 19 Knochen aufstellten, die die zutreffendste Beurteilung erlauben sollen. Für GARN und Mitarbeiter (55) ist nicht bewiesen, daß die Hand für das gesamte Skelett repräsentativer ist als irgendeine andere Skelettregion. In ähnlicher Weise könnte man Hand und Knie wählen.

Die ideale Methode (24) mag die Untersuchung des Gesamtskeletts zur Skelettalterbestimmung sein. Mit COBB (27) wird heute jedoch weltweit die linke Hand als Region der Wahl angesehen.

Die Hand ist am bequemsten, am schnellsten und am billigsten zu röntgen und erlaubt die beste Mitarbeit der Kinder. Außerdem kann eine Röntgenuntersuchung der Hand am häufigsten wiederholt werden, bei vertretbarer Strahlenbelastung.
Kritisch zusammenfassend kann man mit POZNANSKI (116) sagen, daß die Hand zwar nicht komplett repräsentativ für die Reifung des gesamten Skeletts sein mag, aber befriedigend genug für die meisten klinischen Situationen.

Übereinkunftsgemäß wird heute, auch wegen der Reduktion der Strahlenbelastung, in der Regel die linke Hand zur Beurteilung der Skelettentwicklung herangezogen.
Die Wahl der linken Seite beruht auf einer internationalen Übereinkunft auf Konferenzen 1906 und 1912 in Monaco und Genf, die linke Seite für anthropometrische Messungen zu benutzen (64).
Wiederholt wurde die Frage untersucht, ob die linke Hand alleine ausreicht oder ob wegen möglicher Differenzen in der Entwicklung auch die rechte Hand mitbewertet werden müsse.

Aus diesem Grunde untersuchten DREIZEN und Mitarbeiter (31) 450 Kinder aus dem Hillman-Hospital in Birmingham, Alabama. Die Skelettalterunterschiede zwischen linker und rechter Hand überstiegen drei Monate nur in 13 % der Kinder, mehr als 6 Monate nur in 1,5 %. Daraus wurde die Schlußfolgerung gezogen, daß die Unterschiede zwischen linker und rechter Hand so gering sind, daß sie vernachlässigt werden können. Dies um so mehr, als man feststellte, daß die geringsten bzw. überhaupt fehlenden Unterschiede bei Kindern gefunden wurden, deren Skelett- und chronologisches Alter über eine längere Entwicklungsperiode gleich

oder sehr ähnlich waren. Bei DREIZENs (31) Fällen unterschritt das Skelettalter aber in 76 % der Fälle das Lebensalter. Daher dürften die Unterschiede bei Kindern in besserem Gesundheitszustand geringer sein (64).

BAER und DURATZ (11) fanden zwar für die Carpalia eine größere bilaterale Asymmetrie als für die Epiphysen, aber weder bei Jungen noch bei Mädchen eine signifikante Beschleunigung der Skelettentwicklung der einen gegenüber der anderen Hand. Dies entspricht ungefähr den Ergebnissen von ROCHE (127), der zwar eine geringe Beschleunigung der Skelettentwicklung der linken gegenüber der rechten Hand fand, jedoch keine, die statistisch signifikant gewesen wäre. Die größte Differenz betrug nur 1,76 Monate. Allgemein ist die Asymmetrie bei Jungen etwas größer als bei Mädchen.
Damit dürfte eine Begrenzung der Nützlichkeit der linken Hand nicht gegeben sein, weil die Links-Rechts-Unterschiede nicht signifikant und damit bedeutungslos sind (10,22,34,41,98,119,127).

Wegen der eventuellen somatischen und genetischen Schädigungsmöglichkeiten durch die Einwirkung der diagnostischen Röntgenstrahlung sollten Strahlendosis und mögliches Risiko einer Röntgenaufnahme der Hand bekannt sein. Diese Schädigungsmöglichkeiten sind wohl der Grund dafür, daß in einer Reihe von Ländern, wie z.B. in Großbritanien (169), röntgenologische Untersuchungsserien der Hand bei gesunden Kindern nicht erlaubt sind.

Prinzipiell besteht auch bei der Bestrahlung des kindlichen Handskeletts die Gefahr einer Leukämieauslösung durch die Nutzstrahlung am Ort der Röntgenuntersuchung (114). Alle anderen somatischen Schädigungsmöglichkeiten, z.B. allgemeine Tumorinduktion oder Verkürzung

der Lebenserwartung, dürften bei der geringen Dosisbelastung bei einer Röntgenaufnahme der Hand nach den Ergebnissen der strahlenbiologischen Forschung von vornherein außer Betracht bleiben.
Das Leukämierisiko ist aber auch zu vernachlässigen. Das natürliche Risiko innerhalb eines Zeitraumes bis 15 Jahren liegt bei 300 auf eine Million. Bei 1 R Ganzkörperbestrahlung sind 1 bis 2 zusätzliche Fälle pro eine Million pro Jahr zu erwarten. Diese Induktion hält ca. 10 bis 15 Jahre an (114).

Das Verhältnis des Volumens des Handskeletts zum Gesamtvolumen des Körpers beträgt höchstens 2 %. Dadurch ergibt sich gegenüber der Ganzkörperbestrahlung von 1000 mR ein sehr viel kleineres Risiko. Berechnet man für Kinder zwischen zwei und vier Jahren eine dreimal größere Empfindlichkeit gegenüber Röntgenstrahlen, so beträgt das gesamte Leukämierisiko für Kinder innerhalb des Zeitraumes von 15 Jahren ca. 6×10^{-8} = auf 100 Millionen Röntgenaufnahmen der Hand höchstens sechs Fälle von Leukämieauslösung. Dies ist eine Relation von 0,2 %o gegenüber dem erwähnten natürlichen Strahlenrisiko. Ein zweiwöchiger Aufenthalt im Schwarzwald oder bayrischen Wald ergibt wegen der dort herrschenden größeren terrestrischen und kosmischen Strahlung eine mehrfach stärkere Strahlenbelastung als eine Röntgenaufnahme der Hand (114).
Die genetische Belastung darf bei einer Gonadendosis pro Röntgenaufnahme bei Jungen von 7 bis 8 μ R (73) und bei Mädchen noch weniger (wegen der Absorption der Strahlung durch die Baucheingeweide) vernachlässigt werden. Zum Vergleich sei angeführt, daß die genetische Belastung durch eine einmalige Bergfahrt mit ca. drei Stunden Aufenthalt in 1500 Meter Höhe um ein Mehrfaches übertroffen wird.

Wichtig ist es jedoch trotz allem auf die Anwendung der richtigen Aufnahmetechnik bei einer Röntgenaufnahme der Hand hinzuweisen, wie es SEELENTAG und Mitarbeiter (154, 155) wiederholt getan haben. Entscheidendsind neben der Anwendung von Kassetten mit Verstärkerfolien - folienlose Filme sollten in der pädiatrischen Radiologie nicht mehr benutzt werden - gute Einblendung der Strahlung und optimale Sitzposition des Kindes. Bei schlechter Sitzposition und schlechter Einblendung beträgt die Gonadendosis bei einer Aufnahme der Hand 9,2 mR, bei guter Einblendung und guter, seitlicher Sitzposition des Kindes mit Gonadenbleischutz aber nur 0,03 mR. Dies ist ein Dosisverhältnis von 3100 zu 1!

Beim jetzigen Kenntnisstand erscheint es somit sinnvoll, die qualitativen Skelettalterbestimmungsmethoden vorzuziehen, die die linke Hand als zu untersuchenden Skelettabschnitt gewählt haben.
Die Überlegenheit anderer Skelettabschnitte zur Skelettalterbestimmung, wie Knie und Ellenbogen, die bei verschiedenen Methoden benutzt werden müssen (113,124, 145), ist nicht bewiesen. Allenfalls kann bei bestimmten Fragestellungen, z.B. der Großwachstumstherapie, manchmal die zusätzliche, jedoch niemals alleinige Anwendung einer Methodik, die z.B. die Skelettreifung des Kniegelenkes bewertet, wie die von PYLE und HOERR (124) angegebene, sinnvoll sein.
Einige Methoden, die die linke Hand als Bestimmungsort des Skelettalters wählen, sind entweder nur schwer mit genügender Exaktheit durchführbar oder lassen keine genaue Bestimmung des Skelettalters zu.
Mit der 1948 von PYLE und Mitarbeitern (122) eingeführten sogenannten Red-Graph-Methode läßt sich zwar gut die Harmonie oder Disharmonie der Skelettentwicklung

der Hand anzeigen, eine xakte Angabe des Skelettalters ist jedoch nicht oder nur schwer möglich.
Die Methode von CLARKE und HEYMAN (26) kann nur bei Kindern im Alter zwischen neun und fünfzehn Jahren benutzt werden.
Die schmatischen Zeichnungen der verschiedenen, altersentsprechenden Ossifikationsstadien im Lehrbuch von SCHINZ und Mitarbeitern (146) erlauben nur eine relativ grobe Angabe des Skelettalters.

Am besten bewährt haben sich die international bekannteste Methode von GREULICH und PYLE (64), deren Vorgänger die Methode von TODD (174) war, und die zunächst 1962 und dann in überarbeiteter Form 1975 publizierte Methode von TANNER und Mitarbeitern (166, 169).
Bei beiden Methoden wird neben qualitativen Merkmalen der Knochenkerndifferenzierung am Skelett der linken Hand auch die Anwesenheitoder Nichtanwesenheit bestimmter Knochenkerne in einem bestimmten Alter sowie das Verhalten der Epiphysenfugen bewertet.

Dies scheint eine ideale Kombination von Reifungskriterien zu sein.
Deshalb wurden die Methoden, die von GREULICH und PYLE (64) sowie von TANNER und Mitarbeitern (169) angegeben wurden, zur Prüfung an westdeutschen Kindern aus dem Düsseldorfer Raum ausgewählt.
Es soll ihre Anwendbarkeit und die Genauigkeit dieser Methoden untersucht werden.
Sowohl die Methoden von GREULICH-PYLE (64) wie von TANNER und Mitarbeitern (169) differenzieren zwischen Jungen und Mädchen. Dies ist unerläßlich, da die Unterschiede der Skelettreifung zwischen Jungen und Mädchen so erheblich sind (98).

Die Modifizierungen der Methode von TANNER (169), wie sie von TARANGER und Mitarbeitern (171) 1976 angegeben wurden, bieten keine eindeutigen Vorteile gegenüber der Originalmethode. Ob die Vereinfachung der GREULICH-PYLE-Methode (64), die HAAVIKKO (67) 1974 einführte, gleichwertige Ergebnisse bringt, ist noch nicht genügend bewiesen. Bei dieser Methode wurden nur sechs "verläßliche" Ossifikationszentren der Hand zur Bestimmung des Skelettalters verwendet. Die Methodik von KAPALIN (83) aus dem Jahre 1967 hat über die Tschechoslowakei hinaus bis jetzt kaum Verbreitung gefunden. Wie bei der GREULICH-PYLE-Methode (64) wird auch hier u.a. ein Ähnlichkeitsvergleich mit Standardaufnahmen für die einzelnen Altersklassen durchgeführt.

2.2 Die Methodik nach GREULICH-PYLE (64):

Der Anlaß der Entstehung des von TODD (174) erstmals herausgegebenen und dann 1950 und 1959 von GREULICH und PYLE (64) in neuer überarbeiteter Form weitergeführten Atlas zur Bestimmung des Skelettalters aufgrund von Röntgenaufnahmen der linken Hand war das inadäquate Verhalten von Größe und Gewicht bei einer so heterogenen Bevölkerung wie in der USA. Deshalb wurde nach einem Reifeindikator gesucht, der unabhängig von Körpergröße und -gewicht ist.
TODD (174) begann 1931 seine Untersuchungen im Rahmen der Research-Studie der Brush-Foundation-Studie in Cleveland/Ohio. Beginnend mit Kindern im Alter von drei Monaten wurden mit Erlaubnis der Eltern bis zur Vollendung des ersten Lebensjahres in dreimonatigem, bis zum Alter von sechs Jahren in sechsmonatigem und dann im jährlichen Intervall Röntgenaufnahmen der linken Hand angefertigt. Da bis zum Jahr 1936 jedoch vor allem die älteren Altersgruppen unterrepresentiert waren, wurden auch Kinder aus verschiedenen Schulen

Clevelands hinzugenommen. Hierdurch entstand eine gewisse Inhomogenität, die später von GREULICH und PYLE (64) beseitigt wurde, da bis 1950 alle Altersgruppen in der Research-Serie ausreichend vertreten waren.
Alle Kinder mußten frei sein von gröberen körperlichen oder geistigen Defekten. Die Probanden stammten alle aus weißen Familien, meist mit nordeuropäischen Vorfahren und mußten in den USA geboren sein. Die Familien lagen in ökonomischer und bildungsmäßiger Hinsicht etwas über dem Durchschnittsniveau. Zum jeweiligen Untersuchungstermin durften die Kinder nicht mehr als zwei Prozent vom festgelegten Alter abweichen, also z.B. für Dreijährige +/- 22 Tage.

Die Altersstandards wurden aus je 100 Röntgenaufnahmen von Kindern des gleichen Geschlechts und Alters ausgesucht. Dies geschah in der Weise, daß alle Filme vom relativ niedrigsten bis zum höchsten altersentsprechenden Status sortiert wurden und dann das am meisten zentral gelegene Beispiel ausgesucht wurde.

Vorgehen bei der Skelettalterbestimmung:

Zunächst wird die zu befundende Röntgenaufnahme der Hand mit dem Standardbeispiel des gleichen Geschlechts und des nächsten chronologischen Alters verglichen. Daraufhin erfolgt ein Vergleich mit den benachbarten jüngeren und älteren Standards. Ausgewählt wird der Standard, der der eigenen Röntgenaufnahme am meisten entspricht. Bei jungen Kindern ist für die Beurteilung wesentlich das Vorhandensein bestimmter Carpal- oder Epiphysenzentren.
Mit Beginn der Pubertät und zunehmend in der Adoleszenz ermöglicht der Grad der Fusion der Epiphysen mit dem Schaft die erste Auswahl.

In der dazwischen liegenden Altersperiode ist die Form- und Gestaltentwicklung der Kerne wichtig. Hierzu gibt es für die einzelnen Knochenkerne beschreibende und in Umrisszeichnungen skizzierte Reifeindikatoren für verschiedene Altersstufen. Wenn der Entwicklungsstand keinem Standard genau entspricht, sondern zwischen zweien liegt, sollte auch das Skelettalter interpoliert werden.
Eine mehr detaillierte Bestimmung des Skelettalters ist möglich durch Vergleich jedes einzelnen Knochens mit dem des Standards. Günstig hierfür ist es, die Knochenkerne in einer bestimmenten Ordnung zu prüfen, um keinen zu vergessen. Der Beginn kann z.B. mit dem distalen Ende des Radius und der Ulna gewählt werden, um dann mit den Carpalia, Metacarpalia und den Phalangen fortzufahren. Die Carpalia werden am besten in der Reihenfolge ihres Entstehens beurteilt: Capitatum, Hamatum, Triquetrum, Lunatum, Scaphoid (Naviculare), Trapezium (Multangulum maius), Trapezoid (Multangulum minus) und Pisiforme.

Hat ein bestimmter Knochenkern den gleichen Entwicklungsstand wie der korrespondierende Knochen in dem ausgewählten Standard, sollte ihm das Skelettalter zugeordnet werden, das ihm auch in dem Standard gegeben wurde. Andernfalls muß ein Vergleich mit den benachbarten Standards erfolgen. Ist kein Standard dem zu bewertenden Knochenkern ganz identisch, dann sollte der gewählt werden, der diesem am nächsten kommt. Wichtig ist es, daß jedem Standard eine Angabe über das individuelle Skelettalter jedes einzelnen Knochens beigefügt ist. Dies ist notwendig, da nicht immer alle Knochenkerne der Hand eines bestimmten Standards den gleichen Entwicklungsstand aufweisen.

Das Gesamtskelettalter bei der detaillierten Bestimmung der einzelnen Knochenkerne entspricht dann dem Durchschnittswert der einzelnen Knochenkerne (105).

2.3 Die Methodik von TANNER, WHITEHOUSE und Mitarbeitern (169):

Erstmals 1962 wurde von TANNER, WHITEHOUSE und Mitarbeitern (166) ein gegenüber der Methode von GREULICH und PYLE (64) völlig anderes Verfahren zur Skelettalterbestimmung aufgrund von Röntgenaufnahmen der linken Hand vorgestellt, die sogenannte TW 1 - Methode. 1975 (169) wurde eine überarbeitete und teilweise abgeänderte Form als sogenannte TW 2 - Methode veröffentlicht.

3000 normale britische Jungen und Mädchen stellten die Untersuchungsgruppe dar, auf deren Grundlage der Atlas zur Bestimmung der Skelettreife erstellt wurde.
Die Autoren ordneten jedem Knochen von seinem ersten Erscheinen bis zu seinem ausgereiften Zustand bestimmte Stadien (A, B, C etc.) zu, die sich nach den ablaufenden Veränderungen der Gestalt richten. Jedes Stadium wurde im röntgenologischen Beispiel dargestellt, verbal mit bis zu drei Kriterien detailliert beschrieben und noch zusätzlich durch Umrisszeichnungen skizzenhaft illustriert. Die absolute Größe der Knochen wurde hierbei durchweg ignoriert und im wesentlichen nur das Entwicklungsstadium berücksichtigt, weil dieses allen Kindern gemeinsam ist. Die Zahl der Stadien wurde so gewählt, daß die Unterschiede zwischen den Stadien nicht zu klein sind, weil dies nur Verwirrung stiften würde. Andererseits durften die Unterschiede der Stadien auch nicht zu groß sein, weil dadurch eine zu große Ungenauigkeit entstanden wäre.
So bekamen der Radius, die Metacarpalia, die Phalangen, das Hamatum und das Trapezium je 9, die Ulna und

der Rest der Carpalia je 8 Stadien. Stadium A bedeutet hierbei die Abwesenheit eines sichtbaren Knochens.

Jeder Knochen macht alle Stadien durch. Nur die Dauer des Verbleibs in einem Stadium ist unterschiedlich.
Jedem Stadium wurde dann für Jungen und Mädchen unterschiedlich ein sogenannter gewichteter Zahlenscore beigefügt. Über die Summer dieser Scores kann man das reale Skelettalter berechnen. Die sogenannte biologische Wertung oder Wichtung wurde eingeführt, weil TANNER und Mitarbeiter (166, 169) der Ansicht sind, daß viele Knochen der Hand ziemlich genau die gleiche Information über die Reife geben. So sind die Fingerknochen z.B. weitgehend identisch. Daher erschien es nicht wünschenswert, einen simplen Durchschnittswert aller verfügbaren Knochen zu machen, weil dies den 19 Fingerknochen kollektiv ein viel größeres Gewicht geben würde als den sieben Carpalia sowie Radius und Ulna.

Außerdem wurde festgestellt, daß die Carpalia differente und häufig schlechtere Informationen über die Reifeprozesse geben als die langen Knochen.

Deshalb wurden für die TW 2 - Methode drei seperate Scoring-Systeme aufgestellt.

1.: RUS-Score = Für Radius, Ulna und Short-fingerbones (= Metacarpal- und Fingerepiphysen). Hierbei werden Radius, Ulna sowie die Fingerstrahlen 1, 3 und 5 mit den 3 oder 4 Epiphysen jeden Strahls gleich gewertet.

2.: Carpal-Score: Alle Carpalie, denen jeweils die gleichen Werte beigemessen werden.

3.: 20-Bone-Score: Eine Kombination der Methoden 1 und 2, wobei jeweils die halben Wertungen des RUS- und des Carpal-Scores für die einzelnen Knochen gegeben werden.

Bei den Methoden 1 und 3 wird den Knochen des zweiten und vierten Fingers das Gewicht 0 gegeben, d.h., daß die Finger nicht alle bewertet werden.

Tabelle 2: Werte der biologischen Gewichtung jedes Knochens in jeder der drei Reifeskalen:

Knochen	20-B	RUS	Carpal
Radius	10,0	20,0	
Ulna	10,0	20,0	
Metacarpale 1	3,4	6,7	
Metacarpale 3	2,5	5,0	
Metacarpale 5	2,5	5,0	
Prox. Phalangen 1	3,3	6,7	
Prox. Phalangen 3	2,5	5.0	
Prox. Phalangen 5	2,5	5,0	
Mittelphalangen 3	2,5	5,0	
Mittelphalangen 5	2,5	5,0	
Distale Phalangen 1	3,3	6,7	
Distale Phalangen 3	2,5	5,0	
Distale Phalangen 5	2,5	5,0	
Capitatum	7,1		14,3
Hamatum	7,1		14,3
Triquetrum	7,1		14,3
Lunatum	7,1		14,3
Scaphoid	7,1		14,3
Trapezium	7,1		14,3
Trapezoid	7,1		14,3
	100,0	100,00	100,1

Diese biologische Wichtung wurde integriert in die gewichteten Scores, die jedem Knochenstadium beigegeben wurden.

Die Wichtung und Vergabe der Scorewerte erfolgt jedoch ganz willkürlich (22, 37).
Jungen und Mädchen wurden getrennt analysiert, da alle Knochen bei Mädchen früher reifen. Dies trifft jedoch nicht für alle Knochen in gleicher Ausprägung zu.
Da Mädchen und Jungen differente Scores für die gleichen Stadien haben, zeigt ein bestimmtes radiographisches Erscheinungsbild nicht die gleiche Reife bei beiden Geschlechtern an.

Das praktische Vorgehen sieht folgendermaßen aus:
Wie allgemein üblich beträgt bei Röntgenaufnahmen der Hand, die ohne Bucky-Raster exponiert werden, der Fokus-Filmabstand etwa 76 Zentimeter. Die Hand sollte palmar leicht auf die Filmkassette gedrückt werden. Zentriert wird auf den dritten Mittelhandknochen damit Carpalia und Epiphysen unter demselben Winkel abgebildet werden, der den Zeichnungen und Beschreibungen der Entwicklungsstadien zugrunde gelegt wurde.
Die Knochen werden dann in der Reihenfolge: Radius, Ulna, Metacarpale 1, 3, 5, proximale Phalangen 1, 3, 5, Mittelphalangen 3, 5, distale Phalangen 1, 3, 5, Capitatum, Hamatum, Triquetrum, Scaphoid, Trapezium und Trapezoid bewertet. Jedem Knochen wird dem Atlas entsprechend ein bestimmtes Stadium zugeordnet. Ein Stadium gilt als erreicht, wenn bei zwei angegebenen Kriterien mindestens eins und bei drei angegebenen Kriterien mindestens zwei vorhanden sind.
Aus der Summe der für die drei Methoden unterschiedlichen Score-Werte für die verschiedenen Stadien der

Knochen wird der Gesamtscorewert gebildet. Jeder dieser Scores reicht von 0 (= unsichtbar) bis 1000 (= volle Reife). Den Reife-Scores sind tabellarisch in Abständen von 0,1 Jahren Knochenalter zugeordnet, wobei eine lineare Interpolation für einen bestimmten Score gemacht werden kann.
Außerdem besteht die Möglichkeit der Benutzung von Perzentilenkurven aus denen ersehen werden kann, um wieviel ein Kind von der 50. Perzentile, also dem durchschnittlichen Skelettalter, abweicht.

3. Eigene Untersuchungen:

Geprüft werden sollte die praktische Durchführbarkeit der ausgewählten Methoden von GREULICH-PYLE (64) und TANNER und Mitarbeitern (169), die Genauigkeit der Methoden sowie ihre Anwendbarkeit bzw. Übertragbarkeit auf westdeutsche Jungen und Mädchen.
Als Probanden wurden Kinder herangezogen, bei denen in den Jahren 1973 bis 1977 in der Röntgenabteilung der Universitäts-Kinderklinik Düsseldorf Röntgenaufnahmen der linken Hand zur Bestimmung des Skelettalters angefertigt worden waren. Fanden sich in den entsprechenden Akten auch Röntgenaufnahmen der linken Hand aus Jahren vor 1973, so wurden diese ebenfalls benutzt.
Alle verwendeten Röntgenaufnahmen der linken Hand waren in typischer Weise exponiert worden: Strahlengang dorso-volar; Übertischaufnahmen ohne Rasterverwendung; Kassetten mit feinzeichnenden Verstärkerfolien; Belichtungswerte zwischen 45 bis 60 KV und 0,003 bis 0,006 Sekunden, entsprechend etwa 1,2 bis 2,5 mAS; kleiner Fokus, 0,6; - Es wurde darauf geachtet, daß die Hand plan der Kassette auflag.

Die Achse des Mittelfingers sollte der des Unterarmes entsprechend, die Finger sollten sich gerade nicht berühren, der Daumen leicht - etwa 30° - abduziert sein. Hielten jüngere Kinder nicht still, so wurde die Hand mit einem Plastikgurt fixiert. Die verwendete Technik entspricht der von TANNER und Mitarbeitern (169) angegebenen. Zentriert wurde auf das Köpfen des Metacarpale 3. Alle Kinder trugen eine sogenannte Bleihalbschürze als Gonadenschutz und hatten, meist in sitzender Position, den Körper von der Primärstrahlung möglichst weit abgewendet.

Ausgesucht wurden normalwüchsige Jungen und Mädchen, deren Größe zwischen der 10. und der 90. Perzentile lag (nach J.C. VAN WIERINGEN, 1971 (179), ergänzt durch VON HARNACK).
Zur Bewertung wurden

119 Röntgenaufnahmen der linken Hand normalwüchsiger Jungen

und

119 Röntgenaufnahmen der linken Hand normalwüchsiger Mädchen

benutzt.
Das Alter der Kinder lag zwischen 2,0 und 16,0 Jahren. 2,0 Jahre als untere Altersgrenze wurde gewählt, weil bei den Methoden von TANNER und Mitarbeitern (169) teilweise das niedrigste bestimmbare Skelettalter bei 1,6 oder sogar bei 2,4 Jahren liegt. Erreichte ein Junge bei der Tanner-Carpal-Methode nicht den Akelettalterwert von 2,4 Jahren und lag sein Lebensalter zwischen 2,0 und weniger als 2,4 Jahren, so wurde dieser Wert nicht verwendet.

Nach dem Lebensalter wurden drei Altersgruppen festgelegt:

A 1 = Kleinkinder: 2,0 bis unter 6,0 Jahre

A 2 = junge Schulkinder: 6,0 bis unter 10,0 Jahre

A 3 = ältere Schulkinder: 10,0 Jahre und älter
(bis maximal 16,0 Jahre)

Ausgewählt wurden nur Kinder, die entweder klinisch gesund waren oder nur leichte und akute Erkrankungen aufwiesen, wie z.B. Pneumonie, akute Gastroenteritis, Fieberkrampf, Frakturen etc.

Bei den Kindern mit akuten Erkrankungen darf davon ausgegangen werden, daß zumal während des Beginns und bei im Durchschnitt kurzer Dauer der Erkrankung kein signifikanter, verfälschender Effekt auf das Skelettalter ausgeübt wird.
Ausgeschlossen wurden z.B. Kinder mit Erkrankungen des endokrinen Systems, Stoffwechselstörungen, schweren chronischen Erkrankungen wie z.B. chronische Nierenerkrankungen, Mukoviscidose und Vitium cordis, und schweren konsumierenden Erkrankungen wie z.B. Leukämie und Tumoren. Auch Kinder mit Skelettdysplasien bzw. dysostosen wurden nicht in die Untersuchungsgruppen eingeschlossen.
Gerade endokrine Störungen durften nicht vorliegen, da sie sich in verschiedener Form auf die Verknöcherungsprozesse auswirken können, z.B. durch Verzögerung oder Beschleunigung der Knochenkernentwicklung (35,58,159). Bei der A- und Hypothyreose z.B. findet sich regelmäßig ein retardiertes Skelettalter. Unter der Therapie mit Schilddrüsenhormonen erfolgt jedoch ein sogenanntes "Catch-up" (Aufholwachstum) der Skelettreife und des

Längenwachstums (71). Beim unbehandelten adrenogenitalen Syndrom besteht eine Beschleunigung der Skelettentwicklung. Auch Kinder mit Diabetes mellitus sollten nicht mit eingeschlossen werden, obwohl KELLER und Mitarbeiter (84) bei dieser Erkrankung unabhängig von ihrer Dauer eine normale Skelettentwicklung fanden. Bekannt ist die verzögerte Skelettreifung unter langdauernder Kortikoidtherapie (12, 18).
1976 stellte BIERICH (18) eine übersichtliche Tabelle (Tabelle 3) über den Einfluß verschiedener Hormone auf das Längenwachstum, die Knochenreifung und den Epiphysenfugenverschluß zusammen:

Tabelle:

Hormon	Längenwachstum	Knochenreifung	Epiphysenfugenverschluß
Wachstumshormon	++	+	0
Insulin	permissiv	?	0
Schilddrüsenhormon	++	++	0
Androgene	+	++	++
Östrogene	0	++	++
Corticosteroide	-	-	-

+ = fördernd" - = negativ; 0 = kein Einfluß

Kinder mit kongenitalen Herzfehlern zeigen oft eine Retardierung des Skelettalters (143). Hierbei scheint der Schweregrad des Vitium cordis und das Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein einer Zyanose eine entscheidende Rolle zu spielen (28). KONRAD (88) untersuchte 1957 120 Kinder mit einem Vitium cordis. Bei 52 % der Patienten fand er eine Retardierung der Skelettentwicklung, wobei dieses insbesondere bei zyanotischen Vitien,

und zwar in 70 % festzustellen war, bei azyanotischen jedoch nur in 27 %.
Während LAND und CALDWELL (99) keine Relation zwischen der Handskelettentwicklung und der geistigen Qualität eines Kindes feststellten, sahen HAAS und Mitarbeiter (66) bei der Skelettalterbestimmung nach der Methode von GREULICH und PYLE (64) bei Jungen und Mädchen mit leichter geistiger Retardierung eine Skelettalterretardierung und zwar bei Jungen stärker als bei Mädchen. In der Adoleszenz erreicht das Skelettalter dann den Normwert. Allerdings fanden auch diese Autoren (66), daß das Maß des Intelligenzquotienten nicht signifikant mit dem Skelettalter korreliert.

Als Kriterien für die praktische Durchführbarkeit der Skelettalterbestimmungsmethoden wurden ausgesucht:

1.: Die Erlernbarkeit der Methode, abhängig von der Klarheit und Verständlichkeit der Anleitung zur Durchführung der Skelettalterbestimmung.

2.: Die Genauigkeit der Angaben über die altersentsprechenden Reifekriterien der Knochenkerne und ihre tatsächliche Erkennbarkeit auf den Röntgenaufnahmen.

3.: Der Zeitaufwand für eine Skelettalterbestimmung.

Als Kriterien für die Genauigkeit der Methoden bzw. ihre Verläßlichkeit wurden benutzt:

1.: Der Intrabeurteiler-Fehler. Dies ist die Größe der Differenz der zu verschiedenen Zeitpunkten vom gleichen Beurteiler bzw. Untersucher bestimmten Skelettalterwerte nach der selben Röntgenaufnahme der linken Hand eines Kindes.

2.: Der Interbeurteiler-Fehler. Das ist die Größe der Differenz der von verschiedenen Untersuchern bestimmten Skelettalterwerte nach der selben Röntgenaufnahme der linken Hand eines Kindes.

Hierzu wurden die Röntgenaufnahmen der linken Hände von

4 normalwüchsigen Jungen
3 minderwüchsigen Jungen und
3 großwüchsigen Jungen

sowie von

4 normalwüchsigen Mädchen
3 minderwüchsigen Mädchen und
3 großwüchsigen Mädchen

ausgewählt.
Bei den Jungen lag das Lebensalter zwischen 3,8 und 12,3 Jahren, bei den Mädchen zwischen 4,0 und 13,0 Jahren. Zunächst wurden an diesem Material die Skelettalterbestimmungen von Untersucher 1 zweimal durchgeführt. Beim zweiten Durchgang, der frühestens 3 Tage nach der ersten Bestimmung erfolgte, waren die Ergebnisse der ersten Untersuchung nicht bekannt. In gleicher Weise verfuhren ein zweiter und dritter Beurteiler.
Die Auswertung wurde begonnen mit der Skelettalterbestimmung nach TANNER (169). Gleichzeitig wurden die Bestimmungen nach der Tanner-20-B-Kombinationsmethode und der Tanner-RUS-Methode bzw. der Tanner-20-B-Kombinationsmethode und der Tanner-Carpal-Methode vorgenommen.
Die errechneten Score-Werte wurden addiert und aus den Tabellen des Atlas das entsprechende Skelettalter ermittelt. Lagen die ermittelten Score-Werte zwischen zwei der tabellarisch angegebenen Maturity-Score-Werte, so wurde das Knochenalter gewählt, das dem ermittelten Score-Wert am nächsten lag. Dadurch wurde es vermieden, mehr als eine Stelle hinter dem Komma - in Dezimalen zwischen 0 und 9 - anzugeben. Lag der ermittelte Score-Wert genau in der Mitte zwischen zwei angegebenen Score-Werten, wurde das Skelettalter des höheren Score-Wertes gewählt.

Ohne Kenntnis der so ermittelten Werte wurde daraufhin, in der Regel nach mehreren Tagen (im Durchschnitt 3 bis 6 Tage) die Bestimmung nach der GREULICH-PYLE-Methode (64) vorgenommen.
Zunächst erfolgte die Bestimmung nach der sogenannten "knochenspezifischen-" oder Summationsmethode. Hierbei wurde jedem einzelnen angelegten Knochenkern nach den Angaben von GREULICH und PYLE (64) ein bestimmtes Skelettalter zugeordnet.
Das durch die GREULICH-PYLE-Methode (64) in Jahren und Monaten bestimmte Skelettalter wurde mit folgenden Werten in Dezimalen bzw. zehntel Jahre umgerechnet:

0; 1 Jahre = 0,08 Jahre
0; 2 Jahre = 0,17 Jahre
0; 3 Jahre = 0,25 Jahre
0; 4 Jahre = 0,33 Jahre
0; 5 Jahre = 0,42 Jahre
0; 6 Jahre = 0,50 Jahre
0; 7 Jahre = 0,58 Jahre
0; 8 Jahre = 0,66 Jahre
0; 9 Jahre = 0,75 Jahre
0; 10 Jahre = 0,83 Jahre
0; 11 Jahre = 0,92 Jahre
0; 12 Jahre = 1,00 Jahre

So wurden maximal 28 einzelne Werte bestimmt und zwar in folgender Reihenfolge: distale Radius- und Ulnaepiphyse, Os capitatum, hamatum, triquetrum, lunatum, scaphoid (naviculare), trapezium (multangulum maius), trapezoid (multangulum minus), Metacarpalepiphysen 1 bis 5, proximale Phalangealepiphysen 1 bis 5, Mittelphalangealepiphysen 2 bis 5, distale Phalangealepiphysen 1 bis 5. Os pisiforme und das Sesamoid der Daumenbeugersehne wurden ausgeklammert. Auch ROCHE und Mitarbeiter (136) ließen das Os pisiforme bei der Bestimmung weg, weil sein Rei-

fegrad nicht mit genügender Genauigkeit bestimmt werden kann.
Unter Berücksichtigung der skizzierten und beschriebenen Reifeindikatoren wurde aufgrund der Handaufnahme des Atlasteiles, in dem auch jedem einzelnen Knochen ein bestimmtes Skelettalter tabellarisch zugeordnet ist, der Reifegrad jedes einzelnen Knochen bestimmt. Gleichartig verfuhren ROCHE und Mitarbeiter (136). Entsprach der Reifegrad eines Knochenkernes bei einem unserer Probanden nicht exakt dem eines entsprechenden Beispiels aus dem Atlasteil, so wurde der Mittelwert aus den Skelettalterangaben für die benachbarten Standards gewählt.
Um eine Angabe über die Skelettreifung des Handgelenks und der Hand insgesamt zu erhalten, wurden die Alterswerte der Einzelknochen addiert und die Summe durch die Zahl der ausgewerteten Knochenkerne dividiert. So erhält man ein durchschnittliches Skelettalter der Hand. Alle Kerne wurden hierbei im Gegensatz zur TANNER-Methode (169) gleichwertig beurteilt. Die Bildung des arithmetischen Mittels aus allen Einzelaltern bei der knochenspezifischen oder Summationsmethode ist nach der Literatur üblich (26,132,133,136,137,141). Auch ist dies der einzige Weg, einen realen Skelettalterwert zu erhalten. Selbstverständlich läßt sich prinzipiell die Frage diskutieren, ob eine solche einfache statistische Mittelwertbildung erlaubt ist. FENDEL (22, 37) vertritt die Ansicht, daß das Gewicht der einzelnen Knochenkerne keineswegs gleich ist. Auch glaubt er, daß eine Interpolation von Zwischenwerten nicht zulässig sei, da es keine intermediären Ereignisse gäbe. FENDEL (37) empfiehlt, einen approximativen Medianwert festzustellen, der angibt, daß die Hälfte der Reifungsprozesse jünger, die andere Hälfte älter ist. Einen tatsächlichen, einzelnen Skelettalterwert erhält man jedoch so nicht.

Wiederum einige Tage später wurde als Letztes die Skelettalterbestimmung nach der sogenannten Atlas- bzw. Inspektionsmethode von GREULICH-PYLE (64) durchgeführt. Die jeweilige Röntgenaufnahme wurde zuerst mit dem Atlasbeispiel verglichen, das dem chronologischen Alter des Kindes entsprach oder am nächsten lag. Stimmte das entsprechende Standardbeispiel mit der zu beurteilenden Röntgenaufnahme des Kindes überein, wurde der dem Standard zugeordnete Wert benutzt. War dies nicht der Fall, wurde ein jüngerer oder älterer Standard gesucht, der der Entwicklung der Hand des Probanden entsprach. Stimmte die Hand des Kindes nicht exakt mit einem vorgegebenen Beispiel überein, so wurde der genauere Skelettaltermittelwert zwischen den zwei Standards verwertet zwischen denen die Skelettreifung des Probanden einzuordnen war.

Anschließend sollte festgestellt werden, wie gut das nach den fünf verschiedenen Methoden bestimmte Skelettalter mit dem Lebensalter übereinstimmt bzw. welche Korrektur für westdeutsche Jungen und Mädchen eingeführt werden muß, damit die gewählte Methode in allen Altersstufen fehlerfrei anwendbar ist.

Außerdem wurde untersucht, wie weit die ermittelten Skelettalterwerte vom Größenalter und Gewichtsalter dieser normalwüchsigen Kinder abweichen.
Unter Zugrundelegen aller untersuchten Kriterien sollten dann die Methoden ermittelt werden, die für die Anwendung bei normalgroßen, gesunden westdeutschen Kindern am günstigsten sind.
Schließlich war es wichtig festzustellen, ob diese ausgewählten Methoden auch für die Anwendung bei minderwüchsigen und großwüchsigen Kindern geeignet sind, da gerade bei diesen Kindern häufig im Rahmen der Diagnostik und Therapie Skelettalterbestimmungen durchgeführt werden.

Hierzu wurden bei klein- und großwüchsigen Kindern in gleicher Weise wie bei den normalwüchsigen Kindern Skelettalterbestimmung durchgeführt.
Als kleinwüchsig wurden Kinder bezeichnet, wenn die Größe unter der zehnten Perzentile (nach VAN WIERINGEN (179), ergänzt durch VON HARNACK), als großwüchsig, wenn die Größe über der 90. Perzentile lag.

Ausgewählt wurden:

49 Röntgenaufnahmen der linken Hand von minderwüchsigen Jungen

59 Röntgenaufnahmen der linken Hand von großwüchsigen Jungen

sowie

51 Röntgenaufnahmen der linken Hand von minderwüchsigen Mädchen

und

54 Röntgenaufnahmen der linken Hand von großwüchsigen Mädchen

Wurde bei einem großwüchsigen Kind eine Hormontherapie eingeleitet, so wurden nur die Röntgenaufnahmen, die vor Therapiebeginn exponiert worden waren, bewertet.
Es sollte festgestellt werden, wie groß bei minder- und großwüchsigen Kindern im Vergleich zu normalwüchsigen die Differenz zwischen Skelett- und Lebens-Alter ist, wie sich die Skelettreifung der Groß- und Minderwüchsigen von der der Normalwüchsigen unterscheidet, und wie sich die Skelettreifung, gemessen nach den verschiedenen Methoden, verglichen mit der Größenzunahme bei minder- und großwüchsigen Kindern im Gegensatz zu normalwüchsigen Kindern verhält.
Aus diesen Parametern sollte versucht werden, eine Aussage über die Anwendbarkeit der Skelettalterbestimmungsmethoden bei minder- und großwüchsigen Kindern zu erhalten.

Im Rahmen der statistischen Auswertung der Untersuchungsergebnisse wurde der paarweise T-Test durchgeführt. Signifikant war ein Testergebnis mit einem p-Wert von 0,05, entsprechend dem 5 % - Niveau.
Da der statistisch-mathematische Begriff der Signifikanz nicht in jedem Falle auch eine Aussage über die klinische Relevanz eines Ergebnisses machen kann, wurde zusätzlich der Begriff des bedeutsamen oder augenfälligen Unterschiedes eingeführt. Die Bewertung, ob ein Unterschied bedeutsam ist, beruht hauptsächlich auf der eigenen klinisch-praktischen Erfahrung und der Beurteilung der untersuchten Zusammenhänge in der Literatur. So ist es zu verstehen, daß zwar die meisten, aber durchaus nicht alle, signifikanten Ergebnisse auch bedeutsam sind, andererseits aber auch einige nicht signifikante Differenzen als klinisch bedeutend beurteilt wurden. Die bedeutsamen Unterschiede wurden auf den Tabellen mit * markiert.
Bei Jungen zwischen 2,0 und weniger als 2,4 Jahren wurden bei der TANNER-Carpal-Methode, die erst mit einem Skelettalter von 2,4 Jahren beginnt, Skelettalterwerte, die 2,4 Jahre nicht erreichten, bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Gleichartig wurde bei dieser Methode, die nur bis zu einem Skelettalter von 15,0 Jahren reicht, verfahren, wenn das Skelettalter 15,0 Jahre betrug, die Jungen aber über 15,0 Jahre alt waren.

Bei Mädchen, die älter als 13,0 Jahre alt waren, wurden bei der TANNER-Carpal-Methode Skelettalterwerte, die einem Alter von 13,0 Jahren entsprachen, unberücksichtigt gelassen, da diese Methode mit einem Skelettalter von 13,0 Jahren endet (volle Ausreifung der Carpalia) und deshalb für Mädchen über 13,0 Jahren nicht aussagefähig ist.

4. ERGEBNISSE UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE:

4.1 Die praktische Durchführbarkeit der Skelettalterbestimmungsmethoden:

Die Verständlichkeit der Anleitung zur Durchführung der Skelettalterbestimmung ist sowohl bei der GREULICH-PYLE-Methode (64) wie auch der Methodik nach TANNER und Mitarbeitern (169) gut. Die wesentlichen Erklärungen sind kurz und umfassen nur wenige Druckseiten. Die Klarheit der Unterweisungen in der jeweiligen Methodik ist zufriedenstellend, obwohl z.B. die Erklärung des sogenannten Scoring-Systems bei der TANNER-Methode (169) nicht auf Anhieb ganz klar verständlich und einsehbar ist. Bei der GREULICH-PYLE-Methode (64) hingegen ist die Erklärung bzw. Begründung für die Zuordnung bestimmter Skelettalterwerte für noch nicht angelegte oder erkennbare Knochenkerne bei der knochenspezifischen oder Summationsmethode nur schwer nachvollziehbar.

Die Genauigkeit der Angaben über die altersentsprechenden Reifekriterien erscheint bei der TANNER-Methodik (169) größer. Vorteilhaft für den Untersuchungsgang ist hierbei, daß die Knochenkerne des zu bewertenden Röntgenbildes unmittelbar mit den für die jeweiligen Entwicklungsstadien angegebenen schriftlich aufgeführten Kriterien, schematischen Skizzen und Röntgenbildbeispielen verglichen werden können. Bei der GREULICH-PYLE-Methodik (64), insbesondere der Summationsmethode, wird als sehr nachteilig empfunden, daß die Skizzen und Textangaben zu den jeweiligen Entwicklungsstadien im Anhang zu finden sind und nicht mit den Röntgenbildbeispielen zusammen betrachtet oder gelesen werden können.

Alleine durch die Benutzung der skizzierten und schriftlich erklärten Reifekriterien ist eine exakte Bestimmung nicht immer oder nur schwer möglich, weil nicht für jeden Altersstandard des Atlasteiles Angaben gemacht werden, sondern häufig mehrere übersprungen werden. Dadurch bedingt läßt sich für einige Knochenkerne in bestimmten Altersabschnitten nur eine Angabe machen, die besagt, daß ein bestimmter Standard, z.B. 23, zwar schon überschritten, der nächste angegebene, - 27 -, aber noch nicht erreicht ist. Zwischen beiden Standard liegen aber z.B. bei Jungen 2,5 Jahre. Dies wird insbesondere bei der Beurteilung der Carpalia bei älteren Kindern als sehr störend empfunden. Erkennen ließen sich jedoch sowohl die von GREULICH-PYLE (64) wie auch die von TANNER (169) angegebenen Kriterien auf den eigenen Röntgenaufnahmen etwa gleich gut.

Als Vorteil der TANNER-Methodik (169) ist anzusehen, daß die meisten sogenannten "stages", also z.B. B, C, D etc., nicht bei allen Knochenkernen die gleichen Entwicklungsstadien angeben. Im Gegensatz zur GREULICH-PYLE-Methodik (64) ist dadurch keine so starke Beeinflussung der Beurteilung möglich. Als Vorteil der knochenspezifischen oder Summationsmethode nach GREULICH-PYLE (64) kann angesehen werden, daß hierbei der Beurteiler nicht wie bei der TANNER-Methodik (169) durch 8 oder 9 Stadien limitiert ist und alle Zentren bewertet werden können.

Der Zeitaufwand ist - auch nach entsprechender Einarbeitung - für die einzelnen Methoden sehr unterschiedlich:

GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode: durchschnittlich 2 - 3 Minuten

GREULICH-PYLE-Summationsmethode : durchschnittlich 8 - 10 Minuten

TANNER-RUS-Methode	:	durchschnittlich 6 - 7 Minuten
TANNER-Carpal-Methode	:	durchschnittlich 5 Minuten
TANNER-20-B-Kombinationsmethode:		durchschnittlich 8 - 9 Minuten

Sind bei sehr jungen Kindern erst einige wenige Knochenkerne angelegt, dann verkürzt sich die Untersuchungszeit, insbesondere bei den TANNER-Methoden und der GREULICH-PYLE-Summationsmethode, um mehrere Minuten.

4.2 Der Intrabeurteiler-Fehler:

Zur Ermittlung des Intrabeurteiler- und Interbeurteiler-Fehlers wurde der 2-Faktor-kreuzklassifizierte Versuchsplan benutzt.
Hierbei ist der 1. Faktor das Kind, der 2. Faktor der Untersucher. Angewandt wurde folgendes lineare Modell:
y_{ijK} (Meßwert) = μ (Gesamtmittelwert) + K_i (Mittelwert des i-ten Kindes) + U_j (Mittelwert des j-ten Untersuchers) + KU_{ij} (Wechselwirkung zwischen Kind und Untersucher) + ε_{ijK} (Fehlerterm).
Aus diesem linearen Modell ergibt sich folgende Streuungszerlegung:
Var $(y_{ijK}) = \sigma^2_U$ (Varianz Untersucher) + σ^2_K (Varianz des Kindes) + σ^2_{KU} (Wechselwirkungsvarianz Untersucher-Kind) + σ^2 (Restvarianz).
Als Intrabeurteiler-Fehler wurde $\sqrt{\sigma^2}$, als Inter-Beurteiler-Fehler $\sqrt{\sigma^2_U + \sigma^2_{KU}}$ benutzt.

In der Tabelle 4 sind die Schätzwerte der Intra-Beurteiler-Fehler angegeben, wie sie für die fünf untersuchten Skelettalterbestimmungsmethoden für alle drei Untersucher sowie Jungen und Mädchen zusammen gefunden wurden.
Bei Einzelbewertung von Jungen und Mädchen (Tabelle 5 und 6) zeigen sich hinsichtlich des Intrabeurteiler-Fehlers bei der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode, der GREULICH-

Tabelle 4: Der Intrabeurteiler-Fehler bei 3 Untersuchern für Jungen (n = 10) und Mädchen (n = 10)

	TANNER-20-B-Kombinations-Methode	TANNER-RUS-Methode	TANNER-Carpal-Methode	GREULICH-Inspektions-Methode	GREULICH-Summations-Methode
Intra-Beurteiler-Fehler (Monate)	3,37	4,7	4,35	2,14	3,28
Schwankungsbereich der Abweichungen (Monate	-7,6; 5,6	-10,0; 8,8	-4,8; 5,6	-5,2; 6,0	-5,6 6,4

Tabelle 5: Der Intra-Beurteiler-Fehler bei 3 Untersuchern für Jungen (n = 10)

	TANNER-20-B-Kombinations-Methode	TANNER-RUS-Methode	TANNER-Carpal-Methode	GREULICH-Inspektions-Methode	GREULICH-Summations-Methode
Intra-Beurteiler-Fehler (Monate)	2,3	5,0	3,5	2,2	2,9
Schwankungsbereich der Abweichungen (Monate)	-4,4; 5,6	-10,0; 8,8	-3,6; 5,6	-2,4; 6,0	-4,4; 2,8

Tabelle 6: Der Intrabeurteiler-Fehler bei 3 Untersuchern für Mädchen (n = 10)

	TANNER-20-B-Kombinations-Methode	TANNER-RUS-Methode	TANNER-Carpal-Methode	GREULICH-Inspektions-Methode	GREULICH-Summations-Methode
Intra-Beurteiler-Fehler (Monate)	4,1	4,4	5,1	2,1	3,6
Schwankungsbereich der Abweichungen (Monate)	-7,6; 5,6	-9,6; 8,0	-4,8; 5,6	-5,2; 4,0	-5,6; 6,4

PYLE-Summationsmethode und der TANNER-RUS-Methode gute Übereinstimmungen, während der bei Mädchen ermittelte Intra-Beurteiler-Fehler für die TANNER-20-B-Kombinationsmethode und die TANNER-Carpal-Methode deutlich höher liegt als bei Jungen. Der größte Intra-Beurteiler-Fehler (TANNER-Carpal-Methode/Mädchen) liegt jedoch auch nur bei 5,1 Monaten.
Der augenfällig kleinste Intra-Beurteiler-Fehler (Tabelle 4) wurde bei der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode festgestellt, der größte bei Zusammenbewertung von Jungen und Mädchen bei der TANNER-RUS-Methode. Relativ ungünstig ist das Ergebnis auch für die TANNER-Carpal-Methode, während die Werte für die GREULICH-PYLE-Summationsmethode und die TANNER-20-B-Kombinationsmethode eine Mittelstellung einnehmen.
Interessant erscheint, ob ein unterschiedlicher Grad an Erfahrung der Beurteiler in der Skelettdiagnostik sich erkennbar auf den Intra-Beurteiler-Fehler auswirkt. Untersucher 1 hatte etwa 10 Jahre Erfahrung in der Skelettbestimmung, die sich jedoch vornehmlich auf die GREULICH-PYLE-Methodik bezieht; Untersucher 2 zwei Jahre und Untersucher 3 sechs Monate Erfahrung. Mit den TANNER-Methoden hatte keiner der Untersucher längere Erfahrung.
Während diese Methoden jedoch von den Untersuchern 2 und 3 nur bei 20 Kindern in zwei Untersuchungsdurchgängen benutzt wurden, führte Untersucher 1 die Untersuchungen zur Bestimmung des Intra-Beurteiler-Fehlers durch, nachdem er bereits vorher beim gesamten Untersuchungsgut die drei TANNER-Methoden angewandt hatte.
Die Tabellen 7 und 8 zeigen die entsprechenden Ergebnisse für Jungen und Mädchen getrennt aufgelistet. Der Fehler wurde aus der einfachen Varianzanalyse für jeden Beurteiler und jede Methode getrennt ermittelt. Auch hier zeigt sich mit zwei Ausnahmen (Untersucher 2 und 3, Jungen) für die

GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode der kleinste Intra-Beurteiler-Fehler. Bei Untersucher 2 ist der Intra-Beurteiler-Fehler für die TANNER-20-B-Kombinationsmethode nur um 0,08 Monate bei Jungen geringer als für die GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode und bei Untersucher 3 nur um 0,95 Monate geringer für die GREULICH-PYLE-Summationsmethode als für die Inspektionsmethode. Die Fehlerbreite ist insgesamt ziemlich ähnlich. Bei Jungen liegt die Fehlerbreite der TANNER-RUS-Methode jedoch etwas höher. Bei Mädchen schneiden TANNER-RUS- und TANNER-Carpal-Methode etwas schlechter ab.
Bemerkenswert ist, daß bei keiner anderen Methode so häufig eine genaue Übereinstimmung zwischen erster und zweiter Beurteilung gefunden wurde wie bei der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode.
Bei Bewertung der bei Jungen und Mädchen für die Einzeluntersucher festgestellten Fehlerbreite fällt auf, daß diese für die GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode für den unerfahrensten Beurteiler nur unbedeutend höher ist als für den erfahrensten. Dies würde für die Qualität der Beurteilung des Untersuchers 3 sprechen, aber nicht unbedingt, zumindest nicht in jedem Fall, für den zu großen Einfluß einer sehr langen Erfahrung. Untersucher 3 konnte in sechs Monaten eine Erfahrung sammeln, die zu so korrekter Beurteilung führte, daß zumindest aufgrund dieses Parameters keine wesentliche Überlegenheit von Untersucher 1 festzustellen war.
Das könnte dadurch bedingt sein, daß im Rahmen der täglichen Routine-Handskelett-Diagnostik Differenzen in den erhobenen Befunden gemeinsam diskutiert werden. Dadurch läßt sich nach ROCHE (136) bei ungeübten Beurteilern eine ähnlich hohe Reproduzierbarkeit der Befunde erreichen wie bei geübten Untersuchern.

Tabelle 7: Der Intra-Beurteiler-Fehler bei jedem der einzelnen 3 Untersucher bei Jungen (n = 10)

	Untersucher	TANNER-20-B-Kombinations-Methode	TANNER-RUS-Methode	TANNER-Carpal-Methode	GREULICH-Inspektions-Methode	GREULICH-Summations-Methode
Intrabeurteiler-Fehler (Monate)	1	2,26	4,79	3,45	1,84	3,97
	2	2,56	5,22	3,27	2,34	1,39
	3	2,15	4,98	3,66	2,23	2,67
Wie oft keine Abweichung?	1	0	1	4	6	1
	2	2	0	3	4	1
	3	1	1	2	6	1
Schwankungsbereich der Abweichungen (Monate)	1	-6,0; 12,0	-16,8; 14,4	-3,6; 15,6	-6,0; 12,0	-9,6; 4,8
	2	-8,4; 4,8	-16,8; 3,6	-10,8; 10,8	0,0; 8,4	-3,6; 3,6
	3	-4,8; 6,0	-15,0; 12,0	-3,6; 12,0	-6,0; 6,0	-13,1; 3,6

Tabelle 8: Der Intra-Beurteiler-Fehler bei jedem der einzelnen 3 Untersucher bei Mädchen (n = 10)

	Untersucher	TANNER-20-B-Kombinations-Methode	TANNER-RUS-Methode	TANNER-Carpal-Methode	GREULICH-Inspektions-Methode	GREULICH-Summations-Methode
Intra-Beurteiler-Fehler (Monate)	1	2,7	4,37	4,06	2,08	3,20
	2	3,36	3,65	5,31	2,09	3,54
	3	5,74	5,0	5,72	2,21	4,13
Wie oft keine Abweichung?	1	1	0	5	5	2
	2	2	3	2	5	1
	3	1	3	3	7	2
Schwankungsbereich der Abweichungen (Monate)	1	- 9,6; 6,0	-14,4; 6,0	-10,8; 16,8	-8,4; 18,8	-8,4; 12,0
	2	-10,8; 4,8	-14,4; 4,8	-14,4; 8,4	-6,0; 6,0	-8,4; 15,6
	3	-15,6; 21,6	- 8,4; 21,6	- 7,2; 25,2	-9,6; 0,0	-16,8; 9,6

Die Fehlerbreite der GREULICH-PYLE-Summationsmethode war insgesamt (Ausnahme Untersucher 2/Jungen) etwas größer.
Bei den TANNER-Methoden zeigten sich, wenn die Ergebnisse der Untersuchungen bei Jungen gewertet wurden, keine wesentlichen Unterschiede in der Fehlerbreite der Beurteiler. Die etwas größere Erfahrung des Beurteilers 1 hatte keinen nennenswerten Einfluß auf die Fehlerbreite. Bei den Mädchen waren die Ergebnisse des unerfahrensten Untersuchers 3 jedoch deutlich schlechter als die des erfahrensten Untersuchers 1.
Die Schwankungsbereiche der Abweichungen (Tabelle 5 und 6) waren bei den GREULICH-PYLE-Methoden sowie der TANNER-20-B-Kombinations-Methode und der TANNER-Carpal-Methode sehr ähnlich, während sie bei der TANNER-RUS-Methode deutlich größer waren
Beurteilt nach dem Intrabeurteiler-Fehler würden sich die fünf Methoden nach den eigenen Untersuchungen in folgender Rangfolge der Qualität bzw. geringsten Fehlerbreite darstellen:

1.: GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode
2.: GREULICH-PYLE-knochenspezifische-Summationsmethode
3.: TANNER-20-B-Kombinationsmethode
4.: TANNER-Carpal-Methode
5.: TANNER-RUS-Methode

4.3 Der Interbeurteiler-Fehler

Im Gegensatz zum Intra-Beurteiler-Fehler sind die ermittelten Inter-Beurteiler-Fehler (Tabelle 9) weniger stark unterschiedlich. Außer für die GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode liegen alle anderen festgestellten Interbeurteiler-Fehler niedriger als die Intra-Beurteiler-Fehler. Trotz der nur geringen Unterschiede läßt sich jedoch erkennen, daß die drei TANNER-Methoden etwas günstiger abschneiden als die beiden GREULICH-PYLE-Methoden.

Im Gegensatz zum Verhalten beim Intra-Beurteiler-Fehler ist das Ergebnis der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode sogar am schlechtesten. Allerdings beträgt der Inter-Beurteiler-Fehler dieser Methode auch noch weniger als 3 Monate.

Der Schwankungsbereich der Abweichungen hat bis auf die TANNER-20-B-Kombinationsmethode bei allen anderen Methoden ein höheres Niveau als beim Intra-Beurteiler-Fehler. Dies ist jedoch nur bei der TANNER-Carpal-Methode und der GREULICH-PYLE-Summationsmethode deutlich ausgeprägt.

Die niedrigsten Werte weisen die GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode und die TANNER-20-B-Kombinationsmethode auf.

Die für männliche und weibliche Probanden getrennte Bestimmung des Inter-Beurteiler-Fehlers (Tabelle 10 und 11) ergab teilweise unterschiedliche Ergebnisse. Zumindest für die TANNER-20-B-Kombinationsmethode und die GREULICH-PYLE-Summationsmethode (für die TANNER-RUS- und die TANNER-Carpal-Methode konnten bei Mädchen keine genauen Werte angegeben werden) liegt der Inter-Beurteiler-Fehler bei Mädchen niedriger, während er bei der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode gering höher war. Dieses Verhalten zwischen Jungen

Tabelle 9: Der Inter-Beurteiler-Fehler bei 3 Untersuchern für Jungen (n = 10) und Mädchen (n = 10) zusammen

	TANNER-20-B-Kombinations-Methode	TANNER-RUS-Methode	TANNER-Carpal-Methode	GREULICH-Inspektions-Methode	GREULICH-Summations-Methode
Inter-Beurteiler-Fehler (Monate)	1,98	1,77	0	2,84	2,27
Schwankungsbereich der Abweichungen (Monate)	-8,4; 3,2	-8,4; 10,8	-10,4; 8,4	-8,4; 3,2	-15,6; 1,2

0 = negative Varianzkomponentenschätzung. Es ist anzunehmen, daß der Inter-Beurteiler-Fehler keine Rolle spielt.

Tabelle 10: Der Inter-Beurteiler-Fehler bei 3 Untersuchern für Jungen (n = 10)

	TANNER-20-B-Kombinations-Methode	TANNER-RUS-Methode	TANNER-Carpal-Methode	GREULICH-Inspektions-Methode	GREULICH-Summations-Methode
Inter-Beurteiler-Fehler (Monate)	2,5	2,7	0,8	2,7	3,1
Schwankungsbereich der Abweichungen (Monate)	-8,4; 2,8	-8,4; 10,8	-6,0; 3,2	-6,0; 3,2	-15,6; 1,2

Tabelle 11: Der Inter-Beurteiler-Fehler bei 3 Untersuchern für Mädchen (n = 10)

	TANNER-20-B-Kombinations-Methode	TANNER-RUS-Methode	TANNER-Carpal-Methode	GREULICH-Inspektions-Methode	GREULICH-Summations-Methode
Inter-Beurteiler-Fehler (Monate)	1,2	0	0	3,0	0,9
Schwankungsbereich der Abweichungen (Monate)	-8,0; 3,2	-6,0; 2,4	-5,6; 8,4	-8,4; 1,6	-6,4; 1,2

0 = negative Varianzkomponentenschätzung. Es ist anzunehmen, daß der Inter-Beurteiler-Fehler keine Rolle spielt.

und Mädchen hinsichtlich des Inter-Beurteiler-Fehlers bei den drei angeführten Methoden ist genau umgekehrt wie für den Intra-Beurteiler-Fehler.

Nach dem Inter-Beurteiler-Fehler bewertet ergibt sich folgende Rangfolge der Methoden:

1.: TANNER-Carpal-Methode
2.: TANNER-RUS-Methode
3.: TANNER-20-B-Methode
4.: GREULICH-PYLE-knochenspezifische-Summationsmethode
5.: GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode

4.4 Diskussion der Ergebnisse:

Intra-Beurteiler-Fehler: Wie aus den Literaturmitteilungen (5,7,9,58,78,79,82,85,100,103,109,137, 138,142,157,169,170) hervorgeht, sind Fehler bzw. Differenzen bei der Skelettalterbeurteilung nicht zu vermeiden. Sowohl die GREULICH-PYLE- wie die TANNER-Methoden sind trotz vieler objektiver Kriterien zahlreichen subjektiven Einflüssen und damit Fehlermöglichkeiten ausgesetzt (33,64,167).

In augenfälliger Weise konnten ROCHE und DAVILA (142) z.B. bei der GREULICH-PYLE-knochenspezifischen-Summationsmethode die subjektive Beeinflussung bei der Skelettalterbestimmung nachweisen. Die Variationsbreite der für die einzelnen Kerne einer Gruppe von Handknochenkernen bestimmten Skelettalterwerte war deutlich größer, wenn die Bestimmung zu verschiedenen Zeiten und getrennt unter Abdeckung aller anderen Kerne gemacht wurde und auch das Lebensalter des Kindes nicht bekannt war, als wenn das ganze Röntgenbild bei der Beurteilung zu sehen war. Hierdurch wird auch erklärt, warum die Korrelationskoeffizienten zwischen den Reifegraden bestimmter Reihen von Knochen, z.B. Mittelphalangen, größer sind, als die zwischen einzelnen Knochen eines Fingerstrahles (130), da normalerweise bei der GREULICH-PYLE-Summationsmethode Reihen und nicht Strahlen beurteilt werden.
Wegen der teilweise sehr unterschiedlichen Ermittlung des Intra-Beurteiler-Fehlers in der Literatur und der dadurch verursachten unterschiedlichen Arten der Angabe des Fehlers, z.B. als Standardabweichung der Differenzen zwischen wiederholten Beurteilungen, als absolute Intra-Beurteiler-Differenz, maximale Differenz, durchschnittliche-Intrabeobachter-Differenz etc.,

sind Vergleiche der Angaben in der Literatur untereinander und der eigenen Ergebhisse mit den in der Literatur mitgeteilten nur bedingt möglich.
Die eigenen Ergebnisse über den Intra-Beurteiler-Fehler bei der GREULICH-PYLE-Methodik stimmen gut, soweit Vergleichbarkeit besteht, mit den Literaturangaben überein. Im Durchschnitt muß mit einem Fehler von 2 bis 4 Monaten gerechnet werden. Die Fehlerbreite kann jedoch in Einzelfällen zwischen 0 und 1,2 Jahren schwanken.
Obwohl die unterschiedliche oder nicht eindeutige Verwendung des Begriffes "Intra-Beurteiler-Fehler" grundsätzlich zu einer unterschiedlichen Reihung bezüglich der Genauigkeit verschiedener Methoden führen kann, sollen im Folgenden bei deutlichen Unterschieden derartige Vergleiche mit der Literatur angestellt werden.

Um mit den Angaben solcher Untersucher, die die absoluten Intrabeurteiler-Differenzen verwenden, vergleichbar zu werden, wurde das eigene Beobachtungsmaterial auch in dieser Weise ausgewertet und die entsprechenden Ergebnisse im Text zitiert.

Eine größere Genauigkeit der knochenspezifischen oder Summationsmethode nach GREULICH-PYLE im Gegensatz zur GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode ließ sich wie bei den eigenen Untersuchungen nicht feststellen. Es ist jedoch möglich, daß die GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode bei dissoziierter Entwicklung der Hand-Knochenkerne schwieriger und ungenauer anwendbar ist, während sich im gleichen Falle bei der Beurteilung nach der GREULICH-PYLE-knochenspezifischen-Summationsmethode ein niedriger Intra-Beurteiler-Fehler findet (157).

Die meisten Untersuchungen über den Intra-Beurteiler-Fehler bei Anwendung der TANNER-Methodik (7,9,137, 138,169,170) beziehen sich auf die sogenannte TW-1-Methodik (166) aus dem Jahr 1962 (= 0 bis 0,9 Jahre).

Während TARANGER (170) in 80 % der Fälle identische Ergebnisse bei wiederholter Untersuchung fand, gaben TANNER und Mitarbeiter (169) selbst 1975 für die neuere sogenannte TW-2-Methodik (von 1975) einen Wert von "± 0,5 Jahren als durchschnittliche Differenz zwischen zwei Bestimmungen in 95 % der Fälle" an. Hierbei wird allerdings nicht zwischen der TANNER-20-B-Kombinationsmethode, der TANNER-RUS-Methode und der TANNER-Carpal-Methode unterschieden. Nach den eigenen Untersuchungen stimmt die Fehlerbreite bei der TANNER-RUS- und der TANNER-Carpal-Methode gut mit den Angaben von TANNER (169) überein, während bei der TANNER-20-B-Kombinationsmethode ein geringerer Intra-Beurteiler-Fehler auftrat.
Nach den eigenen Ergebnissen wie auch denen aus der Literatur ist die Genauigkeit der GREULICH-PYLE-Methodik (64) etwas größer bezüglich des Intra-Beurteiler-Fehlers als die der TANNER-Methodik (169).

Wiederholt wurde versucht, die Ursachen der auftretenden Fehler aufzuklären, um die Genauigkeit der Methoden zu vergrößern.
Immerwieder wurde in diesem Zusammenhang die Forderung nach Ausschluß der Carpalia bei der Skelettalterbestimmung erhoben (5,9,46,47,82,93,97,100), da diese eine zu große und entscheidende Quelle des Irrtums bei wiederholten Untersuchungen seien. Insbesondere für Triquetrum, Capitatum, Hamatum, Scaphoid und Trapezoid soll der Intra-Beurteiler-Fehler größer sein als für andere Knochen der Hand (107,142).
In Übereinstimmung mit JOHNSON (78) und ROCHE (136) ließ sich aufgrund der eigenen Untersuchungen die Ge-

nauigkeit der Bestimmung bzw. die Größe des Intra-Beurteiler-Fehlers durch Weglassen der Carpalia nicht vergrößern. Bei der TANNER-RUS-Methode, die die Carpalia nicht berücksichtigt, war der Fehler sogar etwas größer als bei der TANNER-Carpal-Methode, die nur die Carpalia berücksichtigt, oder auch bei der TANNER-20-B-Kombinationsmethode, bei der die Carpalia mitbewertet werden.

Nachteilig ist, daß die Carpalia nach TANNER (169) bei Mädchen mit 13 Jahren bereits ausgereift sind, und deshalb dann für die Beurteilung des Skelettalters nicht mehr so gut verwertbar sind wie die Epiphysen.

Inter-Beurteiler-Fehler: Bei den Mitteilungen über den Inter-Beurteiler-Fehler in der Literatur wird, soweit genauere Angaben gemacht werden, der Intra-Beurteiler-Fehler mit dem Inter-Beurteiler-Fehler zusammengefaßt (137).
Zusätzlich ist die Art der Berechnung und der Angabe des Fehlers unterschiedlich, z.B.: Absolute Inter-Beurteiler-Differenz, "mean-interobserver-difference", 90 %- und 95 %-Vertrauensbereich für die einzelne Bestimmung.
Der Interbeurteiler-Fehler bei der GREULICH-PYLE-Methodik (64) variiert in den Literaturmitteilungen (7,69,78,85,90,103,109,134,137,142,157,174) bis zu 1,0 Jahren.
Im Mittel liegt der Inter-Beurteiler-Fehler nach den Literaturangaben bei etwa 2 bis 6 Monaten. Die selbst gefundenen Werte für den Inter-Beurteiler-Fehler bei der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode und bei der GREULICH-PYLE-knochenspezifischen-Summationsmethode - soweit sie sich wegen der unterschiedlichen Art der Berechnung vergleichen lassen - entsprechen diesem Fehlerbereich gut, auch wenn der Intra-Beurteiler-

Fehler mit berücksichtigt wurde. Eine etwas geringere Fehlerbreite bei der GREULICH-PYLE-Summationsmethode gegenüber der Inspektionsmethode, wie sie JOHNSON und Mitarbeiter (78) sowie ROCHE und DAVILA (142) fanden, konnte bestätigt werden.

Der festgestellte Schwankungsbereich von -8,4 bis +3,2 Monaten bei der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode und von -15,6 bis +1,2 Monaten bei der GREULICH-PYLE-Summationsmethode liegt etwas höher als der, mit dem man nach GREULICH-PYLE (64) im Einzelfall rechnen muß. Irrtumsangaben von 8 bis 12 Monaten hätten mehr statistische Bedeutung, da man damit auch bei Zwischenräumen von mehr als sechs Monaten zwischen den Standards bereits sehr nahe dem benachbarten Standard käme. Daß jedoch auch hier noch Fehler möglich sind, zeigen die bei den eigenen Untersuchungen festgestellten Schwankungsbereiche des Inter-Beurteiler-Fehlers.

Für die TANNER-TW-2-Methodik liegen noch keine Literaturangaben über den Inter-Beurteiler-Fehler vor. Für die TANNER-TW-1-Methodik wird ein Inter-Beurteiler-Fehler (= "mean -Interobserverdifference für 2 Beurteiler") von 0,36 Jahren (= etwa 4,3 Monate) angegeben (137). Dieser Fehlerbereich ist, wenn am eigenen Material die dort verwendete Berechnungsmethode übernommen wird, mit den hier gefundenen Werten für die TANNER-20-B-, die TANNER-RUS- und TANNER-Carpal-Methode vergleichbar.

Ideal erscheinen die Ergebnisse für die TANNER-TW-1-Methodik von GRAU (59), der feststellte, daß der Inter-Beurteiler-Fehler in Zweidrittel der Fälle weniger als einen Monat beträgt.

Während ROCHE und DAVILA (142) relativ geringe Inter-Beurteiler-Fehler bei der Beurteilung von Radius, Hamatum, Triquetrum, Trapezoid sowie procimaler Phalanx 1 fanden, sahen andere hohe Inter-Beurteiler-

Differenzen bei Beurteilung von Hamatum, Trapezium, Capitatum, Triquetrum, Scaphoid, Trapezoid, Lunatum, Radius und Metacarpale 1, geringe jedoch bei Beurteilung der proximalen Phalangen 1, 3 und 5, der Mittelphalangen 3 und 4, der distalen Phalanx 3, des Metacarpale 3 sowie der Ulna (6,107,173). Aus der teilweisen Widersprüchlichkeit dieser Untersuchungsergebnisse konnte geschlossen werden, daß keine eindeutige Klarheit darüber herrscht, welche Knochenkerne einen ungünstigen Einfluß auf die Genauigkeit der Skelettalterbestimmung, bzw. den Inter-Beurteiler-Fehler haben. Möglicherweise kann die unterschiedliche Begriffsverwendung des Inter-Beurteiler-Fehlers auch hierzu beigetragen haben.

Nach WEINER und THAMBIPILLAI (178) ist sowohl bei den GREULICH-PYLE-Methoden wie den TANNER-Methoden damit zu rechnen, daß der dort verwendete Inter-Beurteiler-Fehler im Durchschnitt etwas größer ist als der Intra-Beurteiler-Fehler. Der isoliert betrachtete Inter-Beurteiler-Fehler in den eigenen Untersuchungen ist jedoch nur für die GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode größer als der Intra-Beurteiler-Fehler, während er bei der GREULICH-PYLE-knochenspezifischen-Summationsmethode und den drei TANNER-Methoden geringer ist.
Nach ROCHE (137) zeigten bei der GREULICH-PYLE-Methodik der Intra-Beurteiler-Fehler und der Inter-Beurteiler-Fehler keine Tendenz sich mit dem Lebensalter zu ändern, während bei der TANNER-Methodik der Intra-Beurteiler-Fehler mit dem Lebensalter variieren soll.
Weder für den Intra- noch den Inter-Beurteiler-Fehler ergeben sich aus den Literaturmitteilungen eindeutig günstigere Zahlen für die TANNER- oder die GREULICH-PYLE-Methodik. Auch ANDERSEN (9) hält beide Methoden für gleich

gut. Dies wird durch die eigenen Untersuchungen bestätigt.

Eine gemeinsame Betrachtung von Intra- und Inter-Beurteiler-Fehler bei den fünf untersuchten Methoden ergibt damit keine wirklich bedeutsame Qualitätsdifferenz, insbesondere da der Intra-Beurteiler-Fehler je nach Methode nur zwischen 2,14 und 4,7 Monaten schwankt und der Inter-Beurteiler-Fehler (aus dem der Anteil des Intra-Beurteiler-Fehlers eliminiert ist) nur zwischen 0 und 2,84 Monaten.

Diese eigenen Ergebnisse bestätigen somit nicht generell, daß die Verläßlichkeit der TANNER-Methodik, insbesondere der TW-2-Methodik, ein wenig größer ist als die des GREULICH-PYLE-Systems, wie es von ACHESON (7) sowie TANNER und Mitarbeitern (169) angegeben wurde.

Eine Abweichung bis zu 6 Monaten kann nach den eigenen Untersuchungen wie den Literaturmitteilungen als vertretbar angesehen werden. Möglichst sollte jedoch versucht werden, noch günstigere Ergebnisse zu erzielen. Dies könnte möglich sein durch regelmäßige Selbstkontrollen im Rahmen eines Teams in größeren Abständen sowie regelmäßigen Vergleichen und Besprechungen der Skelettalterbestimmungsergebnisse (64,111,136).

4.5 Die Übereinstimmung von Lebens- und Skelettalter:

Ein wesentlicher Parameter für die Beurteilung der Anwendbarkeit einer Skelettalterbestimmungsmethode bei einer bestimmten Population ist die Übereinstimmung von Lebensalter und Skelettalterwert.
Daher wurden für die Skelettalterwerte aller fünf untersuchten Methoden - TANNER-20-B-Kombinationsmethode; TANNER-RUS-Methode; TANNER-Carpal-Methode; GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode; GREULICH-PYLE-knochenspezifische-Summationsmethode - die Differenzen zum Lebensalter der Kinder untersucht.
Wichtig ist, ob diese Differenzen signifikant und/oder klinisch relevant sind und ob die verschiedenen Skelettalterbestimmungsmethoden für die westdeutschen Kinder eher ein zu niedriges oder zu hohes Skelettalter angeben.
Für die Altersgruppen und Methoden, bei denen ein wesentlicher Unterschied zwischen Skelett- und Lebensalter gefunden wurde, sollten Korrekturwerte festgelegt werden. Hierdurch kann erreicht werden, daß die ermittelten Skelettalterwerte auch tatsächlich den Skelettreifungsgrad eines westdeutschen Kindes angeben. Dieses Vorgehen wird auch von BLANKSBY (19) für brauchbar gehalten.
Wie aus der Tabelle 16 und den Abbildungen 1 und 6 hervorgeht, zeigten sich bei der Bestimmung des Skelettalters nach der TANNER-20-B-Kombinationsmethode weder bei Jungen noch bei Mädchen in irgendeiner Altersgruppe signifikante Unterschiede zum Lebensalter. Lediglich die nicht signifikante Differenz von 0,36 Jahren bei jungen Schulmädchen erscheint bedeutsam. Dies würde bedeuten, daß diese Methode bei alleiniger Beachtung des Parameters Skelettalter-Lebensalter gut

Tabelle 16: Die Differenz von Lebensalter und Skelettalter bei Normalwüchsigen: TANNER-20-B-Kombinationsmethode

Altersgruppen	Zahl der Kinder	Durchschnittliche Abweichung(Jahre)	Standard-Abweichung(Jahre)
Jungen:			
Kleinkinder (2,0- 6,0)	48	+0,008	0,61
junge Schulkinder (6,0- 10,0)	27	+0,004	1,23
ältere Schulkinder (10,0 u.älter)	39	-0,221	1,64
Mädchen:			
Kleinkinder (2,0- 6,0)	44	-0,043	0,68
junge Schulkinder (6,0- 10,0)	27	-0,359*	1,12
ältere Schulkinder (10,0 u.älter)	44	+0,073	1,19

Tabelle 17: Die Differenz von Lebensalter und Skelettalter bei Normalwüchsigen: TANNER-RUS-Methode

Altersgruppen	Zahl der Kinder	Durchschnittliche Abweichung(Jahre)	Standard-Abweichung(Jahre)
Jungen:			
Kleinkinder (2,0- 6,0)	48	+0,133	0,58
junge Schulkinder (6,0- 10,0)	27	+0,067	1,56
ältere Schulkinder (10,0 u.älter)	39	-0,026	1,58
Mädchen:			
Kleinkinder (2,0-6,0)	44	+0,107	0,90
junge Schulkinder (6,0- 10,0)	27	-0,274	1,18
ältere Schulkinder (10,0 u.älter)	40	+0,470+*	1,22

*= bedeutsamer Unterschied
+= signifikanter Unterschied

Tabelle 18: Die Differenz von Lebensalter und Skelettalter bei Normalwüchsigen: TANNER-Carpal-Methode

Altersgruppen	Zahl der Kinder	Durchschnittliche Abweichung(Jahre)	Standard-Abweichung(Jahre)
Jungen:			
Kleinkinder (2,0- 0,6)	34	+0,253*	0,96
junge Schulkinder (6,0- 10,0)	27	-0,133	1,20
ältere Schulkinder (10,0 u.älter)	31	-0,913+*	1,31
Mädchen:			
Kleinkinder (2,0- 6,0)	39	-0,044	0,72
junge Schulkinder (6,0- 10,0)	27	-0,248*	1,26
ältere Schulkinder (10,0 u.älter)	23	-0,996+*	1,07

Tabelle 19: Die Differenz von Lebensalter und Skelettalter bei Normalwüchsigen: GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode

Altersgruppe	Zahl der Kinder	Durchschnittliche Abweichung(Jahre)	Standard-Abweichung(Jahre)
Jungen:			
Kleinkinder (2,0- 6,0)	49	-0,451+*	0,62
junge Schul-Kinder (6,0- 10,0)	27	-0,611+*	1,32
ältere Schulkinder (10,0 u.älter)	39	-0,921+*	1,30
Mädchen:			
Kleinkinder (2,0- 6,0)	44	-0,189	0,74
junge Schulkinder (6,0- 10,0)	27	-0,659+*	0,99
ältere Schulkinder (10,0 u.älter)	44	-0,293	1,16

* = bedeutsamer Unterschied

\+ = signifikanter Unterschied

Tabelle 20: Die Differenz von Lebensalter und Skelettalter bei Normalwüchsigen: GREULICH-PYLE-knochenspezifische-Summationsmethode

Altersgruppen	Zahl der Kinder	Durchschnittliche Abweichung(Jahre)	Standard-Abweichung(Jahre
Jungen:			
Kleinkinder (2,0- 6,0)	49	-0,243*+	0,52
junge Schulkinder (6,0 bis 10,0)	27	-0,433+*	1,04
ältere Schulkinder (10,0 u.älter)	39	-1,041+*	1,25
Mädchen:			
Kleinkinder (2,0- 6,0)	44	-0,434+*	0,63
junge Schulkinder (6,0- 10,0)	27	-0,785+*	0,88
ältere Schulkinder (10,0 u.älter)	44	-0,396+*	1,17

und bis auf die jungen Schulmädchen ohne Korrektur für die Anwendung bei westdeutschen Kindern übernommen werden könnte. Einzelne Abweichungen des Skelettalters gegenüber dem Lebensalter sind positiv andere negativ. Unter Außerachtlassen der Geringfügigkeit der Abweichungen könnte daraus evtl. abgelesen werden, daß die westdeutschen Jungen bis 10 Jahren und die Mädchen ab 10 Jahren ein gegenüber den englischen Kindern geringfügig höheres Skelettalter aufweisen, also in ihrer Skelettreifung den englischen Jungen und Mädchen leicht voraus sind, während die westdeutschen Jungen ab 10 Jahren und die Mädchen bis 10 Jahren mit ihrer Skelettentwicklung leicht

hinter den englischen Kindern zurück liegen. Diese Interpretation ist jedoch von zweifelhaftem Wert. Wahrscheinlich sind diese geringen Unterschiede im wesentlichen methodisch bedingt und nur zum geringeren Teil durch ein etwas anderes Reifungsverhalten der englischen gegenüber den westdeutschen Kindern. Dies wird dadurch bestätigt, daß die nach der TANNER-RUS-Methode und der TANNER-Carpal-Methode bestimmten Werte kein völlig identisches Verhalten von Skelettalterwert zu Lebensalter zeigen wie bei der TANNER-20-B-Kombinationsmethode. Allen nach den drei TANNER-Methoden bestimmten Skelettalterwerten ist jedoch gemeinsam, daß diese in der Altersgruppe der 2,0 bis unter sechsjährigen Jungen stets etwas höher liegen als bei englischen Jungen.
Die Ergebnisse der TANNER-RUS-Methode (Tabelle 17; Abbildung 2 und 7) unterscheiden sich von denen der TANNER-20-B-Kombinations-Methode dadurch, daß sich bei den über 10-jährigen Mädchen gegenüber dem Lebensalter signifikant und auch bedeutsam höhere Skelettalterwerte ergeben. Hier wird eine Korrektur der Methode für den Gebrauch bei westdeutschen Mädchen erforderlich. Klinisch wichtig ist dies insbesondere deshalb, weil den Größenvorhersageberechnungen nach TANNER (169) die Ergebnisse der TANNER-RUS-Skelettalterbestimmung zugrunde gelegt werden. Durch ein knapp 6 Monate zu hoch bestimmtes Skelettalter wird die Ungenauigkeit der Endgrößenberechnung größer.
Bei der TANNER-Carpal-Methode (Tabelle 18; Abbildung 3 und 8) finden sich wichtige, wenn auch nicht signifikante Differenzen zwischen Skelettalter und Lebensalter bei den männlichen Kleinkindern und den jüngeren Schulmädchen. Während diese Differenzen, die zwar einer Korrektur bedürfen, noch relativ gering sind, sind die Unterschiede bei den über 10-jährigen Jungen und Mädchen

signifikant und auch bedeutsam. Bei Jungen wird nach dieser Methode um etwa 11 Monate und bei Mädchen um fast ein Jahr zu niedrig bestimmt. Der Absolutwert der Abweichung bei Mädchen ist damit doppelt so hoch wie bei der TANNER-RUS-Methode. Solche Differenzen machen unbedingt eine Korrektur der Werte zur Anwendung bei westdeutschen Kindern erforderlich. Da die TANNER-Carpal-Methode jedoch bei Mädchen nur bis 13 Jahren und bei Jungen nur bis 15 Jahren anwendbar ist, weil dann die Carpalia nach TANNER (169) vollkommen ausgereift sind, kommt ihr ohnedies bei den überzehnjährigen Kindern nur geringe Bedeutung zu.

Die GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode (Tabelle 19; Abbildung 4 und 9) ergibt für westdeutsche Jungen aller Altersklassen im Durchschnitt signifikant und klinisch bedeutsam zu niedrige Skelettalterwerte. Dies heißt, daß bei den amerikanischen Jungen der gehobenen Mittelschicht die Skelettreifung im Durchschnitt bei einem bestimmten Lebensalter weiter fortgeschritten ist als bei westdeutschen Kindern. Die Ergebnisse der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode sind auch wesentlich niedriger als bei den TANNER-Methoden. Dies zeigt, daß die Skelettreifung bei englischen Kindern gegenüber westdeutschen Kindern im Durchschnitt sehr ähnlich verläuft, während sie bei amerikanischen deutlich rascher ist. Alle nach der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode bestimmten Skelettalterwerte bedürfen für die Anwendung bei westdeutschen Kindern einer Korrektur.

Für die westdeutschen Mädchen im Alter zwischen 2,0 und weniger als 6 Jahren sowie über 10 Jahren stimmen die ermittelten durchschnittlichen Skelettalterwerte gut mit dem Lebensalter überein. Bedeutsame Unterschiede finden sich nicht. Eine Korrektur erübrigt sich damit. Bei den westdeutschen Mädchen zwischen 6 und weniger als 10 Jahren hingegen wird das Skelettalter jedoch im Durch-

schnitt um ca. 8 Monate zu niedrig bestimmt, diese Abweichung ist klinisch wichtig. Eine Korrektur muß durchgeführt werden.
Für Jungen liegen die Ergebnisse, die für die GREULICH-PYLE-knochenspezifische-Summationsmethode (Tabelle 20; Abbildung 5 und 10) ermittelt wurden, ähnlich wie bei der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode. Alle Skelettalterwerte liegen signifikant und bedeutsam zu niedrig. Gegenüber der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode ist das Skelettalter bei der GREULICH-PYLE-Summationsmethode für die bis 10-jährigen Jungen gering höher. Bei Mädchen zeigen sich in allen Altersgruppen im Durchschnitt gegenüber dem Lebensalter signifikant zu niedrige Skelettalterwerte. Insbesondere für die bis 10-jährigen Mädchen sind die Abweichungen bedeutsam. Im Gegensatz zu den Jungen wird demnach mit der GREULICH-PYLE-Summationsmethode bei Mädchen ein niedrigeres Skelettalter bestimmt als mit der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode. Korrekturen des Skelettalters waren nötig für alle Altersgruppen der Jungen und Mädchen.
Bemerkenswert ist, daß bei beiden GREULICH-Methoden die Differenz zwischen Skelett- und Lebens-Alter annähernd kontinuierlich zunimmt (absolut, nicht aber relativ entsprechend dem Lebensalter), während bei den drei TANNER-Methoden ein solches Verhalten nicht festzustellen war.
Nach den eigenen Ergebnissen müssen zur Angleichung an das Verhalten der Skelettreifung von westdeutschen Kindern folgende Korrekturwerte bei der Skelettalterbestimmung eingesetzt werden:

Tabelle 21: Korrekturwerte für die Skelettalter-Bestimmung bei westdeutschen Kindern

Alter (Jahre)	TANNER-20-B-Kombinations-Methode	TANNER-RUS-Methode	TANNER-Carpal-Methode	GREULICH-Inspektions-Methode	GREULICH-Summations-Methode
	(in Jahren)			(in Monaten)	
Jungen:					
Kleinkinder	-	-	-0,25	+5	+3
junge Schulkinder	-	-	-	+7	+5
ältere Schulkinder	-	-	+0,9	+11	+12
Mädchen:					
Kleinkinder	-	-	-	-	+5
junge Schulkinder	+0,4	+0,3	+0,25	+8	+9
ältere Schulkinder	-	-0,5	+1,0	-	+5

4.6 Die Übereinstimmung von Größenalter und Skelettalter sowie von Gewichtalter und Skelettalter:

Zur Beurteilung der Anwendbarkeit der fünf Skelettalterbestimmungsmethoden sollte außerdem festgestellt werden, wie sich Skelettalter und Größen- oder Längenalter der untersuchten Kinder zueinander verhalten. Hierzu war die Kenntnis der durchschnittlichen Differenz von Längen- und Lebens-Alter bei den Kindern erforderlich.

Da es sich um normalwüchsige Kinder handelte, deren Größe zwischen der 10. und der 90. Perzentile lage, durfte davon ausgegangen werden, daß sich diese Differenz in den physiologischen bzw. normalen Grenzen bewegt. Dies wird auch gut in den Abbildungen 13 und 14 dokumentiert.
Wie aus den in der Tabelle 22 aufgelisteten Werten deutlich wird, entsprechen die Differenzen zwischen den Skelett- und Größenalterwerten insgesamt etwa denen wie zwischen Skelett- und Lebens-Alter.

Tabelle 22: Durchschnittliche Abweichung von Größenalter und Skelettalter bei normalwüchsigen Jungen und Mädchen

Altersgruppe	TANNER-20-B-Kombinations-Methode	TANNER-RUS-Methode	TANNER-Carpal-Methode	GREULICH-Inspektions-Methode	GREULICH-Summations-Methode
Jungen:					
Kleinkinder	+0,195+	+0,317+*	+0,403+*	-0,259+*	-0,051
junge Schulkinder	-0,111	-0,048	-0,248	-0,726+*	-0,548+*
ältere Schulkinder	-0,015	+0,015	-0,739+*	-0,879+*	-1,000+*
Mädchen:					
Kleinkinder	+0,082	+0,232	+0,082	-0,064	-0,309+*
junge Schulkinder	-0,178	-0,093	-0,067	-0,478+*	-0,604+*
ältere Schulkinder	+0,171	+0,495	-0,817+*	-0,196	-0,298

+ = signifikanter Unterschied
* = bedeutsamer Unterschied

Nur bei Jungen zwischen 2,0 und weniger als 6,0 Jahren sind die Differenzen zwischen nach der TANNER-Methodik bestimmten Skelettalter und Längenalter etwas größer und für die TANNER-RUS-Methode und die TANNER-Carpal-Methode auch bedeutsam gegenüber der Differenz zwischen Skelettalter und Lebensalter.
Bei den beiden GREULICH-PYLE-Methoden finden sich entsprechend auch in dieser Altersgruppe Skelettalterwerte, die niedriger (für die GREULICH-Inspektionsmethode bedeutsam) liegen als die Größenalterwerte. Die Differenz ist jedoch etwas kleiner als zwischen Skelettalter und Lebensalter. Dies bedeutet, selbstverständlich in den physiologischen Grenzen, daß die westdeutschen normalwüchsigen Jungen bis zum Alter von 6 Jahren gegenüber dem Lebensalter etwas niedrigere Größenalterwerte aufweisen.
Wenn auch bei den eigenen Untersuchungen teilweise eine gute Korrelation zwischen Größenalter und Skelettalter gefunden wurde, wie sie auch TISSALA und KANTERO (173) bei Anwendung der TANNER-TW-1-Methode (166) feststellten, so ergab sich jedoch keine bessere Beziehung zwischen Skelettalter und Größenalter als zwischen Skelettalter und Lebensalter, wie es von GRAHAM (58) mitgeteilt wurde. Daher ist es sinnvoll weiterhin das Skelettalter in erster Linie in Beziehung zum Lebensalter zu setzen.
Wesentlich ungünstiger im Vergleich zur Korrelation von Skelettalter zu Lebensalter ist die Korrelation von Skelettalter zu Gewichtsalter. Dieser Parameter scheint deshalb für Normalkinder kaum brauchbar. Zusätzliche Anwendung könnte er finden bei adipösen Kindern, da bei diesen die Skelettreifung mit zunehmender Adipositas beschleunigt wird, und zwar bei Mädchen stärker als bei Jungen (166, 176).

4.7 Diskussion der Ergebnisse:

Vergleich von Lebensalter und Skelettalter:

Das Skelettalter eines Kindes ist das Alter, in dem das Durchschnittskind dieses jeweiligen Lebensalters eines Landes ein bestimmtes radiologisches Erscheinungsbild bietet (35).
Daher muß von einer Skelettalterbestimmungsmethode erwartet werden, daß sie dem jeweiligen Niveau der normalen Skelettentwicklung einer bestimmten Population angeglichen ist.
Die Grenzen des Normalen bei der Beurteilung des Skelettalters können allerdings nicht präzise gezogen werden (64). Von großem praktischen Interesse ist jedoch die Kenntnis der als normal angesehenen physiologischen Abweichungen des Skelettalters vom Lebensalter. Nur dann ist es auch möglich von Skelettalterretardierung oder -akzelleration zu sprechen.
Wahrscheinlich hat AMBUEL (8) recht mit seiner Feststellung, daß die Variationsbreite der normalen Skelettentwicklung weiter ist als meist angenommen wird, weshalb er für Perzentilenangaben des Skelettalters plädiert. Auch im Atlas von TANNER und Mitarbeitern (169) sind Perzentilenangaben enthalten. Die Differenzen zwischen 3. und 97. Perzentile sind allerdings z.B. bei der TANNER-20-B-Kombinationsmethode erheblich. Für einen 15-jährigen Jungen beträgt die Differenz zwischen der 3. und 97. Perzentile 3,8 Jahre, für einen 8-jährigen Jungen sogar 4,3 Jahre. Im beigegebenen Text wird allerdings erwähnt, daß ein Plus oder Minus des Skelettalters von zwei Jahren gegenüber dem Lebensalter in den konventionellen Grenzen des Normalen liegt. Dies widerspricht nicht der Feststellung, daß definitionsgemäß die Zunahme des Skelettalters ein Jahr pro Jahr Lebensalter entspricht mit einer Standard-Abweichung von 0,5 Jahren (bei 3- bis 15-jährigen Mädchen bzw. 3- bis 16-jährigen Jungen).

Nach JOHNSTON (81) variiert die Zunahme des Skelettalters in einem chronologischen Jahr zwischen 1,4 und 0,6 Jahren.
Auch MARESH (106) ist der Ansicht, daß die Variationsbreite groß ist, sodaß man zumindest bei gesunden, gut genährten Kindern nur mit Vorsicht den Ausdruck retardiertes Skelettalter benutzen sollte. Für die Praxis jedoch ist die Kenntnis oder Festlegung bestimmter Grenzen wichtig.
Nach VON HARNACK (72) sind z.B. beim Schulkind Abweichungen von +/- einem Jahr bedeutungslos. Dieser Wert scheint auch nach den Untersuchungen von HOUSE (76) realistisch. Er holte die Meinung von 49 Radiologen über das Skelettalter eines sechsjährigen Kindes ein. Die Angaben schwankten zwischen 4;6 und 8;9 Jahren, am häufigsten lagen sie zwischen 5;0 und 7;0 Jahren, zeigten also eine Schwankungsbreite um das Lebensalter von +/- einem Jahr. Dem entsprechen auch die von ANDERSEN (9) angegebenen Standardabweichungen für die GREULICH-PYLE-Methode (64) von 12,5 Monaten für Jungen und 11,9 Monaten für Mädchen sowie für die TANNER-TW-1-Methode (166) vom 13,0 Monaten für Jungen und 13,1 Monaten für Mädchen.
Die bei den eigenen Untersuchungen ermittelten Standardabweichungen entsprechen diesen Werten teilweise gut, manche Werte waren jedoch höher. Bei der GREULICH-PYLE-Methodik lagen sie bei Jungen für die Inspektionsmethode bei 0,6 bis 1,3 Jahren, für Mädchen bei 0,7 bis 1,1 Jahren; für die knochenspezifische-Summationsmethode bei 0,5 bis 1,2 Jahren für Jungen und bei 0,6 bis 1,1 Jahren für Mädchen. Bei der TANNER-Methodik wurden folgende Werte für die Standard-Abweichung gefunden: Jungen: 0,6 bis 1,6 Jahre (20-B-Kombinationsmethode) 0,5 bis 1,6 Jahre (RUS-Methode)

0,9 bis 1,3 Jahre (Carpal-Methode).
Mädchen: 0,6 bis 1,2 Jahre (20-B-Kombinationsmethode), 0,9 bis 1,2 Jahre (RUS-Methode), 0,7 bis 1,2 Jahre (Carpal-Methode.
Von einer pathologischen Abweichung kann erst gesprochen werden, wenn der Zwei-Sigma-Bereich überschritten ist (72,116). Auch nach GREULICH und PYLE (64) schließt die zweifache Standard-Abweichung etwa 90 % der weißen Kinder ein, wenn deren Ernährung- und Gesundheitszustand etwa dem der Kinder aus der Brush-Foundation-Studie entspricht.
GRAHAM (58) erstellte eine Tabelle (Tabelle 23) für die Grenzbereiche des Normalen bei der Bestimmung des Skelettalters in den einzelnen Altersstufen.

Tabelle 23:

Alter (in Jahren)		2-Sigma-Bereich des Skelettalters
Jungen	Mädchen	
0 bis 1	0 bis 1	+/- 3 bis 6 Monate
2 bis 3	3 bis 4	+/- 1 bis 1,5 Jahre
6 bis 10	7 bis 11	+/- 2 Jahre
12 bis 13	13 bis 14	+/- über 2 Jahre

Rassische, klimatische und insbesondere sozioökonomische Unterschiede, die auch die allgemeinen Lebensumstände und die unterschiedliche Qualität der Ernährung mitbeinhalten, üben einen wesentlichen Einfluß auf die Skelettreifung aus (3,9,59,62,101,160,167,178).

Daß rassische Unterschiede nicht alleine verantwortlich sind, zeigten Untersuchungen von GREULICH (63). Er verglich die Skelettalterwerte von weißen Kindern aus Cleveland mit denen amerikanischer Kinder japanischer

Abstammung und denen von in Japan lebenden japanischen Kindern. Zwischen den weißen amerikanischen Kindern und denen japanischer Abstammung fand sich eine relativ gute Übereinstimmung. Im Alter zwischen acht und zwölf Jahren bestand bei Jungen kein signifikanter Unterschied. Bei den fünf- bis siebenjährigen Jungen war eine geringere Skelettreife der Kinder japanischer Abstammung festzustellen, bei den 13- bis 17-jährigen sogar eine Beschleunigung. Die Mädchen japanischer Abstammung zeigten zwischen 10 und 17 Jahren eine Beschleunigung, bis 10 Jahren aber keinen signifikanten Unterschied zu den weißen Mädchen. Interessant ist hierbei, daß die Vorfahren der Kinder japanischer Abstammung aus der gleichen Region in Japan stammten wie die Untersuchungsgruppe von SUTOW und Mitarbeitern (163), die eine Retardierung bis zu 2 Jahren fanden. KIMURA (86) verglich 1976 die Skelettentwicklung von weißen Amerikanern, japanisch-amerikanischen Mischlingen in Japan und Japanern. Nach der TANNER-Methode (166) hatten die Weißen höhere Scores als die Mischlinge und die Japaner. Ähnlich wie GREULICH (63) fand er aber auch einen früheren präadoleszenten Spurt der Reifung bei Japanern und Mischlingen. Nach der Adoleszenz lag das Skelettalter der Mischlinge zwischen dem der Weißen und der Japaner. Dies wiederum deutet auf rassische Einflüsse hin.
So reflektiert die Rate der Skelettreifung das Zusammenwirken von genetischen und Umgebungsfaktoren, genauso wie die Wachstumsrate der Größe (169).

Für die ausschlaggebende Bedeutung der sozio-ökonomischen Unterschiede und Ernährungsbedingungen spricht die Tatsache, daß eine Anhebung des Lebensstandards auch zu einer Reduzierung der Skelettalter-

differenzen führen kann.
ACHESON und Mitarbeiter (4) führten in der Nachkriegszeit Untersuchungen an deutschen Kindern durch, die unterernährt waren. Die meisten Kinder zeigten eine Retardierung der Skelettentwicklung, Nach Besserung der Ernährungsverhältnisse nahm die Skelettreifung innerhalb eines Jahres deutlich zu, beschleunigte sich sogar gegenüber der Vergleichsgruppe.
FRISCH und REVELLE (42) stellten bei Untergewichtigen in sieben lateinamerikanischen und sieben asiatischen Ländern fest, daß das Alter des adoleszenten Wachstumsspurts signifikant früher liegt, wenn das Kalorienangebot bei Jungen z.B. über 2300 als wenn es unter 2300 beträgt.

Ohne Überprüfung darf nicht davon ausgegangen werden, daß eine Skelettalterbestimmungsmethode, die für eine bestimmte Population eines Landes erarbeitet wurde, unbesehen übernommen werden kann. Man darf jedoch davon ausgehen, daß die Knochenstadien und ihre individuellen Sequenzen bei allen Völkern gleich sind (169). LEVINE (97) fand lediglich, daß bei farbigen Mädchen (Neger, Inder, Mischlinge) aus Südafrika die Epiphysen in ihrer Entwicklung hinter den Carpalia zurückliegen, allerdings ohne Änderung der Sequenz des Auftretens.
Dies bedeutet, daß eine bestimmte Skelettalterbestimmungsmethode, die in einem anderen Land entwickelt wurde, nicht prinzipiell geändert werden muß, sondern, daß nur die Skelettalterstandards dem Niveau des Landes angeglichen werden müssen, in dem die Methode benutzt werden soll..
Zahlreiche Untersuchungen in vielen Ländern der Erde (Tabelle 24 und 25) haben sowohl für die GREULICH-PYLE- wie die TANNER-Methodik gezeigt, daß zwar mit-

unter gute Übereinstimmungen vorhanden sind, häufig jedoch entscheidende Unterschiede gefunden wurden. Die meisten Kinder anderer Populationen liegen gegenüber der Untersuchungsgruppe von GREULICH und PYLE (64) aus Cleveland, USA, mit dem Skelettalter auf einem niedrigeren Niveau. Diese Differenz ist allerdings sehr unterschiedlich. Sie kann wie bei Kindern aus Guam (62) bis 2,5 Jahre betragen.
Der relativ hohe Skelettalterstandard der amerikanischen Kinder der Serie von GREULICH und PYLE (64) wird auf die hohe soziale Schicht, aus der die Probanden ausgewählt wurden, zurückgeführt. Nicht immer wird jedoch bei Kindern aus höheren sozialen Schichten auch ein höheres durchschnittliches Skelettalter gefunden (59).
Gegenüber der englischen Untersuchungsgruppe von TANNER und Mitarbeitern (166, 169) liegen die Skelettwerte, die allerdings fast nur bei europäischen Kindern untersucht wurden, meist höher, wobei die Differenz bis zu einem Jahr (59) betragen kann.

Die untersuchten westdeutschen Kinder zeigten trotz einiger korrekturbedürftiger Unterschiede eine relativ gute Übereinstimmung mit den englischen Probanden, die von TANNER und Mitarbeitern (169) für die Erstellung ihrer drei Methoden benutzt wurden.
Auch nach EVELETH und TANNER (35) sollen europäische Populationen dicht bei den TANNER-Standards liegen. TANNER und Mitarbeiter (169) berichteten 1975 sogar, daß aufgrund ihrer zwölfjährigen Erfahrung mit diesem System in aller Welt sich gezeigt hat, daß es für alle Populationen verwendbar ist.
Für die Schulmädchen ergaben sich bei der TANNER-RUS- und der TANNER-Carpal-Methode, und bei der TANNER-20-B-Kombinationsmethode für die jungen Schulmädchen,

für die männlichen Kleinkinder und die älteren Schuljungen bei der TANNER-Carpal-Methode eindeutige Unterschiede. Die Differenzen bei der TANNER-Carpal-Methode für die älteren Schulkinder sind jedoch deshalb unbedeutend, weil die alleinige Skelettalterbestimmung aufgrund der Bewertung der Carpalia bei Außerachtlassen der Epiphysen der Hand bei Kindern über 10 Jahre heute meist abgelehnt wird (8,46,47,82,93,97, 100).

Die englischen Probanden stammten alle aus der Mittelklasse, während die eigenen Probanden, nicht ausgelesen, sich sowohl aus unteren wie gehobenen sozialen Schichten rekrutierten.
Wahrscheinlich werden diese beiden Extreme durcheinander ausgeglichen, sodaß ein der normalen Mittelschicht entsprechender Skelettalterwert resultiert. Dies gilt unter der Hypothese, daß die Skelettentwicklung bei Kindern aus schlechten sozialen Schichten eher im unteren und bei denen aus oberen Schichten eher im oberen Normbereich liegt.

Insbesondere die TANNER-20-B-Kombinationsmethode (hier nur für junge Schulmädchen Korrektur erforderlich) kann nach den eigenen Untersuchungen gut für die Anwendung bei westdeutschen Kindern übernommen werden.
Dieses Ergebnis zeigt, daß die Ansicht,von GRAU (59), die Skelettalterwerte bei europäischen Kindern lägen gegenüber den englischen Probanden von TANNER (166) meist höher, nicht unbedingt zutrifft. Allerdings beziehen sich die Untersuchungen von GRAU (59) auf die ältere TANNER-TW-1-Methodik (166). Selbst für die älteren Schulmädchen konnte nur eine Abweichung von 6 Monaten bei der TANNER-RUS-Methode

festgestellt werden, während GRAU (59) an Münchner Kindern ein im Durchschnitt um 1 Jahr höheres Skelettalter bei der TW-1-Methode beobachtete. Auch FENDEL (37) fand 1976 bei Münchner Kindern bei Anwendung der TW-1-Methode, daß das Skelettalter "etwas" über dem Lebensalter lag. Ob dieser Unterschied allerdings wesentlich war, wird nicht angegeben. Möglicherweise war die soziale Schichtung der Probanden unterschiedlich.
Eine ähnliche gute Übereinstimmung von Skelett- und Lebensalter wie in der eigenen Untersuchungsserie fanden PELECH und PECHSTEIN (145) 1976 in Prag für die TW-1-Methode.
Für die TW-2-Methodik liegen bislang nur zwei Untersuchungen vor. TARANGER (170) sah 1976 in Schweden bei bis siebenjährigen Kindern für die Carpalia ein um 0,1 bis 0,4 Jahre und für die Epiphysen ein um 0,5 bis 0,9 Jahre höheres Skelettalter. Nur bei Anwendung der TANNER-Carpal-Methode in der Altersgruppe der männlichen Kleinkinder fanden sich in der eigenen Serie vergleichbare Verhältnisse. Hier lag das Skelettalter um 0,25 Jahre über dem Lebensalter. Sowohl dieser Unterschied wie der von TARANGER (170) gefundene ist unerheblich.
Die 1977 von KIMURA (87) erhobenen Befunde konnten nur für Kleinkinder bestätigt werden. Bei Jungen und Mädchen bis 8 Jahren stellte er ein etwa gleiches Skelettalter fest wie bei den Probanden von TANNER (169), danach jedoch lag das Skelettalter für Jungen bis zu 1,4 Jahren und für Mädchen bis zu 1,6 Jahren höher. In der eigenen Untersuchungsreihe lag das Skelettalter bei älteren weiblichen Schulkindern ab 10 Jahren jedoch nur bei Anwendung der TANNER-RUS-Methode um 0,47 Jahre höher.

Ähnlich wie bei den vielen Untersuchungen in anderen Ländern (Tabelle 24 und 25) zeigten auch die untersuchten westdeutschen Jungen und Mädchen im Gegensatz zu der Feststellung von BORMS (20) ein niedrigeres durchschnittliches Niveau des Skelettalters als die aus Cleveland stammenden Kinder, die von GREULICH und PYLE (64) untersucht wurden.
Wie fast übereinstimmend in der Literatur (7,21,35,44, 96, 137) festgestellt wird, ergibt derselbe Befund nach der GREULICH-PYLE-Methode (64) ein deutlich niedrigeres Skelettalter als nach der TANNER-Methodik (166). Auch bei den Jungen aller Altersgruppen aus der eigenen Untersuchungsserie lagen die nach der TANNER-Methodik bestimmten Skelettalterwerte eindeutig höher als die nach der GREULICH-PYLE-Methodik ermittelten (Abbildung 11 und 12). Bei jungen Schulmädchen zwischen sechs und zehn Jahren ist dies auch der Fall.
Die Angaben über die Differenz zwischen den Methoden schwanken zwischen 0,8 und 2 Jahren. Nur bei Kindern im Alter von 12 bis 15 Monaten, die in der eigenen Serie nicht enthalten waren, sollen die nach der GREULICH-PYLE-Methodik bestimmten Skelettalterwerte die nach der TANNER-Methodik erstellten übersteigen. Die größte Differenz (etwa 11 Monate) ließ sich in der eigenen Untersuchungsserie bei älteren Schuljungen feststellen.

Neben rassischen spielen wahrscheinlich auch hier vorallem soziale Ursachen, insbesondere der unterschiedliche Lebensstandard und die verschiedenartigen Ernährungsbedingungen eine wesentliche Rolle (3,9,59,62,101,167).

Wie auch bei den eigenen Untersuchungen fanden auch BUDLIGER und PRADER (23) größere durchschnittliche Abweichungen bei Jungen als bei bei Mädchen.
Bei anderen Untersuchungsserien aus Deutschland und der Schweiz (23,37,75) zeigten sich in der Tendenz ähnliche Ergebnisse wie bei den eigenen Probanden.
Das Skelettalter lag steht "etwas" (keine genaue Angabe) (37) oder 0,5 Jahre (75) bzw. 0,8 Jahre für Jungen und 0,5 Jahre für Mädchen (23) niedriger als bei den amerikanischen Kindern.

Tabelle 24: Abweichungen des Skelettalters vom Lebensalter in verschiedenen Ländern der Erde. GREULICH-PYLE-Methodik

Land/Stand	Abweichungen (in Jahren) Jungen	Mädchen	Beobachtungsgut/Bemerkung	Literatur
Guam	bis -2,5	bis -1,8	10-jährige	(62)
Westafrika	-1,33	-1,33		(178)
Westaustralien/Perth	"zufriedenstellend"	bis -1,25	11-jährige	(19)
China/ hongkong	-1,0	-0,75		(25)
Tschechoslowakei/Prag	bis -1,0	"nur mäßige Verzögerung"	durchschnittliche Klasse	(115)
Peru	-0,94	-0,59		(175)
Schweiz/ Zürich	-0,8	-0,5		(23)
England	-0,75	-0,75	durchschnittliche Klasse, Kinder ab 6 Jahre	(7)
Finnland/ Helsinki	-0,65	-0,49		(90)
Japan/ Hiroshima	-0,5 bis -2,0	-0,75 bis - 2,0		(163)
Deutschland/ Düsseldorf	-0,45 bis -0,92	-0,19 bis -0,66	Inspektionsmethode	Eigene Unters.
Deutschland/ Göttingen	-0,5	-0,5		(75)
Dämemark	-0,49	-0,43		(9)
Frankreich	-0,25 bis -1,08	-0,25 bis -1,08		(77)
Deutschland/ Düsseldorf	-0,24 bis -1,04	-0,39 bis -0,78	knochenspezif.-Summationsmethode	Eigene Unters.
Cook-Inseln	signifikant vermindert	signifikant vermindert	Jungen:7-10 u. 13-14; Mädchen/ 6 -10 u. im 13.Lebensj.	(118)

Fortsetzung Tabelle 24:

Land/Stadt	Abweichungen (in Jahren) Jungen	Mädchen	Beobachtungsgut/Bemerkung	Literatur
Indien/ Rohtak	zunehmend vermindert ab 3. LJ.	zunehmend vermindert ab 3. LJ.	Kinder bis 6 Jahre	(118)
China/ Hongkong	"erniedrigt"	"erniedrigt"	Jungen bis 15. LJ., Mädchen bis 12. LJ.	(100)
Columbien	"retardiert;	"retardiert"		(160)
Iran/ Shiraz	"unter der 10.Perzentile des Greulich-Atlas"			(39)
USA/ Denver	"Skelettalter geringer als Lebensalter		Adoleszenten	(69)
Deutschland/ München	"Skelettalter etwas unter Lebensalter			(37)
Australien/ Melbourne	"Kein Unterschied"		Kinder zwischen 2 u.11 Jahren	(128)
USA/ Baltimore	"Differenz nicht siginifikant über 0"			(108)
Australien/ Melbourne	Übereinstimmung	-0,08		(131)
USA/ Denver	"Keine Differenz"		Kleinkinder obere Mittelklasse	(69)
USA/Philadelphia	+0,15 bis +0,65	+0,08 bis +0,58	gemischte Klasse; Jungen ab 8 Jahre, Mädchen ab 11 Jahre	(79)
China/ Hongkong	"Skelettalter erhöht"		Jungen nach 15.Lebensjahr. Mädchen nach 12. Lebensjahr	(100)

Tabelle 25: Abweichungen des Skelettalters vom Lebensalter in verschiedenen Ländern der Erde: TANNER-Methodik

Land/Stadt	Abweichungen (in Jahren) Jungen	Mädchen	Beobachtungsgut/Bemerkungen/ Methodik	Literatur
Deutschland/ Düsseldorf	+0,008 bis +0,2	-0,36 bis +0,07	20-B-Kombinationsmethode	Eigene Unters.
Deutschland/ Düsseldorf	+0,03 bis +0,13	-0,27 bis +0,47	RUS-Methode	Eigene Unters.
Deutschland/ Düsseldorf	-0,9 bis +0,25	-0,04 bis 0,99	Carpal-Methode	Eigene Unters.
Japan	gleich oder bis -0,2	gleich od. bis -0,1	Kinder bis 8 Jahre (TW 2)	(86)
Schweden	+0,1 bis +0,4	+0,1 bis +0,4	Carpalia(TW 2) Kinder bis 7 Jahre	(170)
Dänemark	+0,25 bis +0,33	+0,25 bis +0,33	Jungen: 7 bis 15, Mädchen 7 bis 13 Jahre; TW-1	(9)
Finnland	+0,6	+0,6	ab 8 Jahren,TW 1	(173)
Schweden	+0,5 bis +0,9	+0,5 bis +0,9	Epiphysen (TW 2) Kinder bis 7 J.	(170)
Deutschland/ München	+1,0	+1,0	TW 1	(59)
Deutschland/ München	"Skelettalter etwas über Lebensalter"		TW 1	(37)
Japan	bis +1,4	bis +1,6	Kinder ab 8 Jahren(TW 2)	(86)
Tschechoslowakei/Prag	"höhere Übereinstimmung als bei Greulich-Methode		durchschnittliche Klasse TW 1	(115)

4.8 Diskussion aller Ergebnisse:

Skelettalterbestimmungsmethoden, die am besten für die Anwendung bei westdeutschen Kindern geeignet sind:

Keine der fünf untersuchten Skelettalterbestimmungsmethoden ist ganz ohne Korrektur für die Anwendung bei westdeutschen Kindern brauchbar. (Tabelle 26). Während jedoch bei der TANNER-20-B-Kombinations-Methode nur eine Korrektur für die Mädchen zwischen 6 und 10 Jahren erforderlich ist, bedürfen die nach der GREULICH-PYLE-knochenspezifischen-Summationsmethode ermittelten Skelettalterwerte in allen Altersgruppen der Jungen und Mädchen einer Korrektur. Eine Korrektur ist leicht und ohne großen Zeitaufwand durchführbar, so daß dieses Kriterium nicht alleine für die Brauchbarkeit einer Methode entscheidend ist.
Sehr wesentlich ist die Genauigkeit der Methoden, die durch die Bestimmung des Intra- und Inter-Beurteiler-Fehlers ermittelt werden kann (Tabelle 26).
Ein weiterer, insbesondere für die tägliche Praxis wichtiger Faktor ist der erforderliche Zeitaufwand (Tabelle 26).

Sowohl hinsichtlich des Zeitaufwandes als auch des Intra-Beurteiler-Fehlers schneidet die GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode von allen untersuchten Methoden am günstigsten ab. Der Inter-Beurteiler-Fehler von 2,8 Monaten ist nur im Vergleich mit den anderen Methoden etwas (ca. 0,6 - 1,1 Monaten) höher, liegt jedoch in einem günstigeren Bereich. Diese Methode läßt sich in zwei bis drei Minuten durchführen und hat eine relativ geringe Fehlerbreite. Für die praktische Anwendung mit der erforderlichen Korrektur wird ein Adaptierungsschema für westdeutsche Kinder vorgeschlagen (Tabelle 27)., so daß der korrigierte Wert leicht ermittelt ist. Da zudem die Größenvorhersageberechnung nach BAYLEY und PINNEAU (17) u.a. auf der Skelettalterbestimmung nach

Tabelle 26: Vergleich der fünf Skelettalterbestimmungsmethoden (Abweichung des Skelett- vom Lebensalter; Genauigkeit, Zeitaufwand)

	Skelettalterbestimmungsmethode (Angaben in Jahren)									
	TANNER-20-B-Kombinations-Methode		TANNER-RUS-Methode		TANNER-Carpal-Methode		GREULICH-Inspektions-Methode		GREULICH-Summations-Methode	
	Jungen	Mädchen	Jungen	Mädchen	Jungen	Mädchen	Jungen	Mädchen	Jungen	Mädchen
Lebensalter(Jahre)										
Kleinkinder (2,0 bis 6,0)	+0,008	-0,043	+0,133	+0,107	+0,253	-0,044	-0,451	-0,189	-0,243*	-0,434*
Junge Schulkinder (6,0 bis 10,0)	+0,004	-0,359*	+0,067	-0,274*	-0,133	-0,248*	-0,611*	-0,659*	-0,433*	-0,785*
ältere Schulkinder (10,0 und älter)	-0,221	+0,073	-0,026	+0,470*	-0,913*	-0,996*	-0,921*	-0,293*	-1,041*	-0,396*
Intrabeurteiler-Fehler (Jahren)	0,19	0,34	0,42	0,37	0,29	0,43	0,18	0,18	0,24	0,3
Interbeurteiler-Fehler (Jahren)	0,21	0,1	0,23	0	0,067	0	0,23	0,25	0,26	0,08
Durchschnittlicher Zeitaufwand (Min.)	8-9		6-7		5		2-3		8-10	

* = bedeutsamer Unterschied

0 = negative Varianzkomponentenschätzung. Es ist anzunehmen, daß der Inter-Beurteiler-Fehler keine Rolle spielt.

Tabelle 27: Vorschlag für die Adaptierung der nach der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode ermittelten Skelettalterwerte zum Gebrauch bei westdeutschen Kindern

Jungen			Mädchen		
Standard	GREULICH-PYLE	für westdeutsche korrigiert	Standard	GREULICH-PYLE	für westdeutsche korrigiert
8	2;0	2;5	8	2;0	2;0
9	2;8	3;1	9	2;6	2;6
10	3;0	3;5	10	3;0	3;0
11	3;6	3;11	11	3;6	3;6
12	4;0	4;5	12	4;2	4;2
13	4;6	4;11	13	5;0	5;0
14	5;0	5;5	14	5;9	5;9
15	6;0	6;7	15	6;10	7;6
16	7;0	7;7	16	7;10	8;6
17	8;0	8;7	17	8;10	9;6
18	9;0	9;7	18	10;0	10;0
19	10;0	10;11	19	11;0	11;0
20	11;0	11;11	20	12;0	12;0
21	11;6	12;5	21	13;0	13;0
22	12;6	13;5	22	13;6	13;6
23	13;0	13;11	23	14;0	14;0
24	13;6	14;5	24	15;0	15;0
25	14;0	14;11	25	16;0	16;0
26	15;0	15;11			
27	15;6	16;5			
28	16;0	16;11			

GREULICH-PYLE (64) beruht, empfiehlt es sich, diese Methode als Methode der ersten Wahl zu bestimmen. Außerdem ist die Methodik aufgrund der Anleitung im Atlas von GREULICH-PYLE (64) gut und schnell (10) erlernbar.

Enttäuschend sind demgegenüber die Ergebnisse der GREULICH-PYLE-knochenspezifischen-Summationsmethode. Wurde zunächst erwartet, daß wegen der knochenspezifischen Bestimmung des Skelettalters von bis zu 28 Knochenkernen die Genauigkeit der Skelettalterbestimmung deutlich zunähme, so zeigte sich, daß der Inter-Beurteiler-Fehler nur etwa einen halben Monat geringer ist und daß der Intra-Beurteiler-Fehler sogar größer ist als bei der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode. Dies liegt wesentlich daran, daß nicht für alle Entwicklungsstadien genaue Angaben über die zu erwartenden Formveränderungen und Reifungsvorgänge an den Knochen gemacht werden. Zwischen den beschriebenen Reifekriterien liegen teilweise bis zu zwei Jahre, so daß insbesondere in den dazwischen liegenden Zeiträumen Schwierigkeiten und dadurch Ungenauigkeiten bei der Beurteilung auftreten können. Korrekturen sind zudem in allen Altersgruppen der Jungen und Mädchen nötig, so daß sich auch hier kein Vorteil ergibt.
In Übereinstimmung mit JOHNSON (78) und im Gegensatz zu LOW (100) konnten bei den eigenen Untersuchungen für die GREULICH-PYLE-knochenspezifische-Summationsmethode keine eindeutig höheren Reifungsalter festgestellt werden. Ein niedrigeres Skelettalter bei der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode soll dadurch bedingt sein, daß man hierbei durch die Carpalia beeinflußt würde, die häufig in ihrer Entwicklung hinter den Epiphysen zurücklägen.
Ein wesentlicher Nachteil der Summationsmethode ist außerdem, daß die Methode den drei- bis vierfachen Zeitaufwand benötigt wie die GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode.

Eine Anwendung der GREULICH-PYLE-knochenspezifischen-Summationsmethode empfiehlt sich daher nicht.

Allen drei TANNER-Skelettalterbestimmungsmethoden gemeinsam ist die exakte und gut verständliche Anleitung zur Durchführung der Methoden und die gut Darstellung der Reifekriterien mittels Text, die Charakteristika hervorhebenden Skizzen und Röntgenbildbeispielen, die synchron verwendet werden können.
Die TANNER-20-B-Kombinationsmethode weist jedoch die größte Intrabeurteiler-Genauigkeit auf. Auch der Interbeurteiler-Fehler liegt mit knapp 2 Monaten niedrig. Die Übereinstimmung von Skelett- und Lebensalter der westdeutschen Kinder ist bei keiner anderen Methode so groß. Nur bei den 6- bis 10-jährigen Mädchen ist eine Korrektur von 0,4 Jahren erforderlich. Der Zeitaufwand ist jedoch mit durchschnittlich 8 bis 9 Minuten - nach GRAU (59) 6 bis 7 Minuten - relativ groß.
Dadurch bedingt erscheint die Methode für den täglichen und häufigen Routinegebrauch weniger geeignet und zeitraubender (72) als die GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode. Für wissenschaftliche Zwecke, bei denen weniger auf den Zeitaufwand geachtet werden muß, und auch bei Vergleichsbestimmungen des Skelettalters mit verschiedenen Methoden, ist diese Methode jedoch zu empfehlen.
Gegenüber den beiden anderen Methoden von TANNER (169) scheint hier die Bewertung von bis zu 20 Knochenkernen, im Gegensatz zur GREULICH-PYLE-knochenspezifischen-Summationsmethode, die Genauigkeit zu erhöhen.
Wenn auch die TANNER-20-B-Kombinationsmethode zu denjenigen der untersuchten Methoden gehört, die prinzipiell zur Anwendung bei westdeutschen Kindern gut geeignet sind, so sollte von den TANNER-Methoden doch der RUS-Methode der Vorzug gegeben werden.
Für die Endgrößenberechnung nach der TANNER-Methode (169) muß das nach der TANNER-RUS-Methode ermittelte Skelettalter benutzt werden.

Die Intra-Beurteiler-Fehlerbreite dieser Methode liegt auch noch mit 4,7 Monaten im vertretbaren Bereich und ist nur um 0,35 bis 1,33 Monate schlechter als bei den anderen TANNER-Methoden. Der Inter-Beurteiler-Fehler ist sogar etwas niedriger als bei der TANNER-20-B-Methode.
Vorteilhaft ist der etwas geringer Zeitaufwand. Auch diese Methode bedarf bei westdeutschen Jungen aller Altersgruppen keinerlei Korrektur und auch bei Mädchen bis 6 Jahren ist keine Korrektur erforderlich.
Vorteilhaft könnte sein, daß bei dieser Methode die Carpalia nicht mitbewertet werden. Nach ANDERSON (9) ergeben sich nämlich bei der TANNER-Methodik häufig Schwierigkeiten mit den Carpalia, die dadurch bedingt sein sollen, daß z.B. bei einem fast ausgewachsenen Mädchen die Differenz zwischen zwei Entwicklungsstadien der Carpalia einen Unterschied des Skelettalters von mehr als zwei Jahren ausmacht. Dies sei bedingt durch das abrupte Ansteigen der Bewertungsskala vom vorletzten zum letzten Stadium der Carpalia.
Die TANNER-Carpal-Methode ist von allen TANNER-Methoden am raschesten durchführbar und hat sogar eine etwas größere Genauigkeit als die TANNER-RUS-Methode. Ihre Nachteile werden dadurch jedoch nicht aufgewogen. Die Notwendigkeit einer Korrektur bei männlichen Kleinkindern und älteren Schulkindern sowie bei jüngeren und älteren Schulmädchen fällt hierbei weniger ins Gewicht. Nachteilig ist, daß die Methode bei Mädchen nur bis zum Alter von 13 Jahren und bei Jungen nur bis zum Alter von 15 Jahren durchführbar ist, da dann die Carpalia nach TANNER (169) ausgereift sind. Außerdem erscheint es nicht sinnvoll, das Skelettalter nur nach den Carpalia zu bestimmen unter Außerachtlassen der Radius- und Ulnaepiphyse sowie der Metacarpa- und Phalangeal-Epiphysen.
Während ROCHE und JOHNSON (132) bei Weglassen der Carpalia keine wesentliche Änderung der Skelettalterwerte feststellten, fanden TARANGER und Mitarbeiter (170) für den Carpal-Score die niedrigsten und für den

RUS-Score, wobei die Carpalia ausgeklammert sind, die höchsten Skelettalterwerte, während die Werte der TANNER-20-B-Kombinationsmethode entsprechend im mittleren Bereich lagen. Läßt man außeracht, daß bei den eigenen Untersuchungen die Differenzen zwischen den drei TANNER-Methoden teilweise nur sehr gering sind, so bestätigen sich diese Ergebnisse. Auch die Untersuchungen von DREIZEN und Mitarbeitern (32) zeigten, daß die Reifegrade der Phalangen und Metacarpalia eine größere Tendenz aufweisen, in der Nähe des arithmetischen Mittels des Skelettalters zu liegen als die Carpalia.
Außerdem wurde festgestellt (82), daß die Epiphysen eine größere Beziehung zum linearen Längenwachstum des Körpers haben. Dies mag einer der Gründe sein, weshalb TANNER und Mitarbeiter (169) für die Berechnung der Endgröße das nach der TANNER-RUS-Methode ermittelte Skelettalter wählen, bei dem die Carpalia nicht berücksichtigt sind. Außerdem sollen die Carpalia eine größere bilaterale Asymmetrie aufweisen (97).

Für die Anwendung bei westdeutschen Kindern werden mit den erforderlichen Korrekturen somit folgende Methoden vorgeschlagen:

1.: Die GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode: Vorschlag für die Adaptierung an westdeutschen Kindern: Tabelle 27.

2.: Die TANNER-RUS-Methode: notwendige Korrektur:
Bei jungen Schulmädchen (6,0 bis 10,0 Jahre):
+0,3 Jahre
Bei älteren Schulmädchen (10,0 Jahre und älter):
-0,5 Jahre

3.: Die TANNER-20-B-Kombinationsmethode: notwendige Korrektur:
Bei jungen Schulmädchen (6,0 bis 10,0 Jahre):
+0,4 Jahre

4.9. Die Anwendbarkeit der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode und der TANNER-RUS-Methode bei groß- und kleinwüchsigen Kindern

Ohne Zweifel ist gerade bei der Diagnostik und Therapie des Groß- und Kleinwuchses das Skelettalter ein wichtiger, allgemein gebräuchlicher Parameter.
Auch für die Anwendung der verschiedenen Größenvorhersagemethoden (15,16,17,140,141,169) ist eine exakte Skelettalterbestimmung nötig, denn ohne die Bestimmung des Skelettalters (164,177) ist die Endgrößenvorhersage mit großer Unsicherheit behaftet. Durch ein ungenau bestimmtes Skelettalter wird die Fehlerhaftigkeit der Endgrößenvorhersage vergrößert.
Der durchschnittliche Vorhersagefehler wird unterschiedlich angegeben (58,75,140,141,169,177). Die Schwankungsbreite liegt zwischen minus 4,0 und plus 5,5 Zentimetern (133). Mit zunehmendem Alter wird die Vorhersagegenauigkeit größer.

Selten wurde die Anwendbarkeit der für normale Kinderpopulationen konzipierten Skelettalterbestimmungsmethoden bei groß- und kleinwüchsigen Jungen und Mädchen untersucht.

4.9.1 Die Übereinstimmung des Lebensalters, Größenalters, und Gewichtsalters mit dem Skelettalter:

Bei normalwüchsigen Kindern ist neben der Genauigkeit der Methoden und dem Zeitaufwand die Differenz zwischen Skelettalter und Lebensalter ein wichtiges Kriterium für die Brauchbarkeit einer Methode. Bei den normalwüchsigen Kindern besteht eine gute positive Korrelation zwischen Lebens- und

Größenalter und, wie die eigenen Untersuchungen zeigen konnten, eine ähnlich gute Korrelation zwischen Lebens- und Skelett-Alter wie zwischen Größen- und Skelett-Alter.
Daher wurde zunächst untersucht, wie sich bei Groß- und Kleinwüchsigen Skelett- und Lebens-Alter sowie Skelett- und Größenalter zueinander verhalten. Die Beschränkung auf nur zwei bezeichneten Skelettalterbestimmungsmethoden erfolgte deshalb, weil bei zu großen und zu kleinen Kindern gleichzeitig auch häufig Größenvorhersageberechnungen durchgeführt werden müssen, denen entweder Skelettalterbestimmungen nach der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode für die BAYLEY und PINNEAU-Methode (17) oder nach der TANNER-RUS-Methode für die TANNER-Methodik der Endgrößenberechnung (169) zugrunde gelegt werden müssen.
Sowohl zwischen Skelett- und Lebens-Alter wie auch zwischen Skelett- und Größenalter bestehen in allen Altersgruppen der großwüchsigen Jungen und Mädchen (Ausnahme: ältere Schulmädchen, GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode) bedeutsame Unterschiede (Tabelle 28 und 29; Abbildungen 15 und 18).
Diese Unterschiede sind wesentlich größer selbst als die bedeutsamen Unterschiede bei Normalwüchsigen.
Auch bei Addition oder Subtraktion der für Normalwüchsige vorgeschlagenen Korrekturwerte für die TANNER-RUS-Methode und die GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode ändert sich hieran prinzipiell nichts.

Bei Großwüchsigen liegen die Skelettalterwerte höher als die Lebensalterwerte, unterschreiten jedoch die Größenalterwerte. Dies bedeutet, daß Großwüchsigen im Durchschnitt das Skelettalter zwar beschleunigt ist, aber weniger als das Längenwachstum, d.h., die Größenentwicklung eilt der Skelettreifung noch voraus.

Aus dem Vergleich von Skelettalter und Gewichtsalter bei großwüchsigen Kindern sind keine wesentlichen Erkenntnisse zu erzielen. Stets liegt das Gewichtsalter höher als das Skelettalter und zwar zunehmend von Kleinkindern zu älteren Schulkindern. Dieses Verhalten ist ähnlich wie beim Größenalter.
Bei minderwüchsigen Jungen und Mädchen (Tabelle 30; Abbildungen 19 und 22) liegt das Skelettalter im Durchschnitt immer signifikant und bedeutsam - auch bei Anwendung der Korrekturwerte - niedriger als das Lebensalter. Dies stimmt in der Tendenz mit dem Verhalten der normalwüchsigen Jungen, wie es sich in den nach der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode ermittelten Skelettalterwerten darstellt, sehr gut überein, nur, daß dort die Differenz geringer ist. Für die TANNER-RUS-Methode trifft dies nur für die normalwüchsigen älteren Schuljungen und die jungen Schulmädchen zu, während in den anderen Altersgruppen das Skelettalter über dem Lebensalter liegt.
Ein in allen Altersgruppen der Mädchen und bei Anwendung der TANNER-RUS-Methode auch in allen Altersgruppen der Jungen umgekehrtes Verhältnis wie bei den Großwüchsigen zeigt sich in der Differenz zwischen Skelettalter und Größenalter (Tabelle 31). Bei Anwendung der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode bei Jungen gilt dies nur für die älteren Schulkinder. Wendet man jedoch die vorgeschlagenen Korrekturwerte an, so ergibt sich auch nach der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode bei den männlichen Kleinkindern und den jungen Schuljungen ein gleichartiges Verhalten. Dies bedeutet, daß bei Minderwüchsigen das Skelettalter höher liegt als das Größenalter. Das Zurückbleiben in der Größenentwicklung ist demnach stärker ausgeprägt als das Zurückbleiben der Skelettreifung.

Tabelle 28: Die Differenz zwischen Lebensalter und Skelettalter bei großwüchsigen Kindern

Alter (in Jahren)	Durchschnittliche Abweichung(in Jahren) TANNER-RUS-Methode	GREULICH-Inspektionsmethode
Jungen:		
Kleinkinder (2,0 bis 6,0)	+0,85* (6)	+0,37* (6)
junge Schulkinder (6,0 bis 10,0)	+1,71+*(17)	+0,96+*(17)
ält. Schulkinder (10,0 und älter)	+1,65+*(32)	+0,71+*(33)
Mädchen:		
Kleinkinder (2,0 bis 6,0)	+1,80*(3)	+1,03* (3)
junge Schulkinder (6,0 bis 10,0)	+1,36+*(11)	+0,59* (11)
ält. Schulkinder (10,0 und älter)	+0,95*+(35)	+0,17 (37)

Tabelle 29: Die Differenz zwischen Größenalter und Skelettalter bei großwüchsigen Kindern

Alter (in Jahren)	Durchschnittliche Abweichung(in Jahren) TANNER-RUS-Methode	GREULICH-Inspektionsmethode
Jungen:		
Kleinkinder (2,0 bis 6,0)	-0,65* (6)	-1,13+* (6)
junge Schulkinder 6,0 bis 10,0)	-1,02+*(17)	-1,76+* (17)
ält. Schulkinder (10,0 und älter)	-1,98+*(32)	-2,89+* (33)
Mädchen:		
Kleinkinder (2,0 bis 6,0)	-0,70* (3)	-1,47* (3)
junge Schulkinder (6,0 bis 10,0)	-1,41 (11)	-2,18+* (11)
ält. Schulkinder (10,0 und älter)	-3,87+*(35)	-4,60+* (37)

+ = signifikant; * = bedeutsamer Unterschied; ( ) = Fallzahl

Tabelle 30: Die Differenz zwischen Lebensalter und Skelettalter bei minderwüchsigen Kindern

Alter (in Jahren)	Durchschnittliche Abweichung (in Jahren) TANNER-RUS-Methode	GREULICH-Inspektionsmethode
Jungen:		
Kleinkinder (2,0 bis 6,0)	$-0,96^{+*}$ (12)	$-1,48^{+*}$ (12)
junge Schulkinder (6,0 bis 10,0)	$-1,76^{+*}$ (19)	$-2,70^{+*}$ (19)
ält. Schulkinder (10,0 und älter)	$-2,02^{+*}$ (18)	$-2,84^{+*}$ (18)
Mädchen:		
Kleinkinder (2,0 bis 6,0)	$-0,75^{+*}$ (18)	$-1,21^{+*}$ (18)
junge Schulkinder (6,0 bis 10,0)	$-1,47^{+*}$ (13)	$-1,59^{+*}$ (13)
ält. Schulkinder (10,0 und älter)	$-0,93^{+*}$ (16)	$-2,06^{+*}$ (17)

Tabelle 31: Die Differenz zwischen Größenalter und Skelettalter bei minderwüchsigen Kindern

Alter (in Jahren)	Durchschnittliche Abweichung (in Jahren) TANNER-RUS-Methode	GREULICH-Inspektionsmethode
Jungen:		
Kleinkinder (2,0 bis 6,0)	$+0,41^{+*}$ (12)	$-0,11$ (12)
junge Schulkinder (6,0 bis 10,0)	$+0,80^{+*}$ (19)	$-0,14$ (19)
ält. Schulkinder (10,0 und älter)	$+1,25^{+*}$ (18)	$+0,53^{*}$ (18)
Mädchen:		
Kleinkinder (2,0 bis 6,0)	$+0,65^{*}$ (18)	$+0,19$ (18)
junge Schulkinder (6,0 bis 10,0)	$+0,51^{*}$ (13)	$+0,38$ (13)
ält. Schulkinder (10,0 und älter)	$+2,31^{+*}$ (16)	$+1,14^{+*}$ (17)

+ = signifikanter Unterschied; * = bedeutsamer Unterschied

( ) = Fallzahl

Ähnlich wie im Vergleich zum Größenalter liegen bei Minderwüchsigen die Skelettalterwerte ebenfalls höher als die Gewichtsalterwerte. Eine ander Erkenntnis als die, daß die Minderwüchsigen häufig auch untergewichtig sind, läßt sich daraus nicht gewinnen. Die ergibt sich jedoch schon aus dem Vergleich von Lebens- und Gewichts-Alter.

Diskussion der Ergebnisse:

Die bei den eigenen Untersuchungen festgestellten Differenzen zwischen Skelettalter (GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode) und Lebensalter bei großwüchsigen Mädchen liegen mit durchschnittlich 0,59 Jahren etwas über dem von SCHOEN und Mitarbeiter (152) gefundenen Unterschied. Dies ist vornehmlich bedingt durch die größere Abweichung bei weiblichen Kleinkinder (+1,03 Jahre).
Die mittlere Skelettalterretardierung wie sie bei Verwendung der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode bei minderwüchsigen Jungen in der eigenen Untersuchungsserie gefunden wurde, entspricht sehr gut der mittleren Retardierung des Skelettalters von 29 Monaten wie sie ebenfalls von SCHOEN und Mitarbeitern (152) festgestellt wurde.
SPROUL und PERITZ (157) sind der Ansicht, daß zwar bei mittelgroßen weißen Kindern Skelettalter und chronologisches Alter weitgehend konform gehen, daß die GREULICH-PYLE-Methodik (64) aber nicht anwendbar ist für Kinder mit "extremer" Statur, weil hier große Divergenzen zwischen Skelettalter und Lebensalter auftreten. Große Kinder zeigten meist eine Beschleunigung der Skelettentwicklung um ein Jahr und kleinere eine Retardierung um mehr als ein Jahr. Auch bei den Minderwüchsigen der eigenen Untersuchungsserie lag bei Anwendung der GREULICH-PYLE-In-

spektionsmethode die durchschnittliche Skelettalter retardierung bei teilweise weit über einem Jahr. Die durchschnittliche Akzelleration der Skelettentwicklung bei großwüchsigen Kindern lag jedoch bei Anwendung der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode meist deutlich unter einem Jahr.

SPROUL und PERITZ (157) schlugen aufgrund ihrer Untersuchungsergebnisse vor, zur Verbesserung der Anwendbarkeit der GREULICH-PYLE-Methode (64) bei Klein- und Großwüchsigen eine bestimmte Korrektur der Skelettaltermittelwerte vorzunehmen. Solche Korrekturen sind jedoch von fragwürdigem Wert.

Zweifel erscheinen insbesondere deshalb angebracht, weil bei verschiedenen Formen des Groß- und Kleinwuchses durchaus unterschiedliche Differenzen zwischen Lebensalter, Skelettalter und Größenalter vorliegen können. Gerade diese Unterschiede können von diagnostischem Wert sein.
So ist z.B. bei der Hypothyreose das Skelettalter stärker beeinträchtigt als das Größenwachstum, während beim hypophysären Minderwuchs umgekehrte Verhältnisse vorliegen. Bei der konstitutionellen Entwicklungsverzögerung liegen Größenalter und Skelettalter unter dem Durchschnitt. Gerade durch die Feststellung einer retardierten Knochenentwicklung kann man hier einen verspäteten Pubertätseintritt erwarten, der dann noch eine Wachstumsbeschleunigung hervorruft, wenn bei normal entwickelten Jugendlichen das Wachstum nachläßt. Beim primordialen Minderwuchs hingegen entspricht das Skelettalter im Durchschnitt dem chronologischen Alter (72). Beim Hochwuchs ist das Skelettalter bzw. die Differenz zwischen Skelettalter und Lebensalter sogar besonders wichtig für die Differentialdiagnose. Beim familiären Hochwuchs ist das Skelettalter altersge-

mäß oder nur wenig erhöht, beim hypophysären Hochwuchs meist normal. Bei der Pseudo-Pubertas praecox (z.B. bei angeborenem adrenogenitalem Syndrom) ist das Skelettalter meist stärker gesteigert als das Größenwachstum (72).
Daher kann man auch nicht der Auffassung von SCHOEN und Mitarbeitern (152) folgen, daß die GREULICH-PYLE-Methodik (64) für Jungen unter der 3. Perzentile (Größen-) wegen der großen Differenz zwischen Skelett- und Lebensalter nicht adäquat sei. Ebenso geht die Ansicht der gleichen Autoren (152), daß wegen der geringen Differenz zwischen Skelett- und chronologischem Alter die GREULICH-PYLE-Methodik (64) für sogenannte "tall-girls" adäquat sei, von der falschen Voraussetzung aus.
Die Größe der Differenz zwischen Skelett- und Lebens-Alter bei Groß- und Minderwüchsigen kann kein Kriterium für die Anwendbarkeit einer Skelettalterbestimmungsmethode bei diesen Gruppen sein.

4.9.2 Vergleich des Skelettreifungsverhaltens bei groß- und minderwüchsigen Kindern im Gegensatz zu normalwüchsigen Kindern

Da die Differenz zwischen Skelett- und Lebens- oder auch Größen-Alter kein Kriterium für die Anwendung der TANNER-RUS-Methode und der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode bei groß- und kleinwüchsigen Kindern sein kann, sollte untersucht werden, ob aus dem Vergleich des Skelettreifungsverhaltens, wie es sich bei Anwendung der ausgewählten Methoden darstellt, und evtl. auch des Verhaltens des Längenwachstums von Groß- bzw. Minderwüchsigen und von Normalwüchsigen auf der anderen Seite, Hinweise für oder gegen die Anwendung dieser Methoden bei groß- und kleinwüchsigen Kindern zu finden sind.

Entscheidend ist hierbei nicht die unterschiedliche Differenz zwischen Lebensalter und Skelettalter bzw. Größenalter bei Normalwüchsigen und Klein- bzw. Großwüchsigen, sondern ob die Art bzw. die Geschwindigkeit der Größenzunahme und die Zunahme der Skelettreifung, wie sie bei Anwendung der beiden Methoden ermittelt wird, bei Normalwüchsigen und andererseits bei Klein- und Großwüchsigen in den verschiedenen Altersgruppen gleichartig oder andersartig ist. Wesentliche Unterschiede könnten ein Hinweis darauf sein, daß eine Skelettalterbestimmungsmethode für die Anwendung bei Groß- oder auch Minderwüchsigen weniger gut geeignet ist.
Interessant, jedoch für die Fragestellung weniger bedeutungsvoll ist auch, ob bei Groß- und Kleinwüchsigen die Zunahme des Längenalters und des Skelettalters stärker differieren als bei Normalwüchsigen. Da das Maß der Geschwindigkeit der Skelettalterzunahme teilweise methodenbedingt ist, wäre hierdurch evtl. eine Aussage darüber möglich, bei welcher Methode eine größere Parallelität zwischen Größen- und Skelettalterzunahme resultiert.
Entscheidend ist jedoch, wie und ob sich die Skelettreifung bzw. die Geschwindigkeit der Skelettalterzunahme bei Anwendung der TANNER-RUS-Methode und der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode bei Normalwüchsigen auf der einen und Groß- bzw. Kleinwüchsigen auf der anderen Seite unterscheiden. Die Methodenbedingtheit der Zunahme des Skelettalters darf bei diesem Vergleich vernachlässigt werden, da sie sowohl bei den normalwüchsigen wie auch den klein- und großwüchsigen Kindern die gleiche Rolle spielt.
Als Maß für die Beurteilung des Skelettreifungsverhaltens der groß- bzw. minderwüchsigen Kinder verglichen mit den normalwüchsigen im Verhältnis zum chronologischen Alter wurde die Steilheit der Regressionsgeraden gewertet.

Vergleicht man bei Jungen für die drei Altersgruppen der Kleinkinder, der jungen sowie der älteren Schulkinder zusammengefaßt die Steilheit der Regressionsgeraden bei Normal-, Minder- und Großwüchsigen (Abbildung 23), dann erkennt man, daß die Steilheit der Regressionsgeraden bzw. die Zunahme des Skelettalters in den drei Gruppen nicht bedeutsam unterschiedlich ist. Alle drei Geraden verlaufen außerdem relativ gut parallel zur Zunahme des Lebensalters. Der Verlauf der Geraden bei Großwüchsigen ist nur unbedeutend steiler als bei Normalwüchsigen und bei Minderwüchsigen nur geringfügig flacher. Nur der Niveauunterschied zwischen Lebensalter und Skelettalter ist different. Die Größe dieses Unterschiedes alleine wurde jedoch bereits als Kriterium zur Anwendbarkeit einer Methode bei groß- und kleinwüchsigen Kindern abgelehnt.
Bei den Mädchen läßt sich bei Zusammenfassung aller drei Altersgruppen ein gleichartiges Verhalten wie bei Jungen beobachten (Abbildung 24).
Betrachtet man die Zunahme des Skelettalters in den drei Altersgruppen getrennt, dann erkennt man, daß sich sowohl bei Jungen wie bei Mädchen Unterschiede zwischen den Groß- und Normalwüchsigen wie den Minder- und Normalwüchsigen ergeben (Abbildungen: 25 bis 28; Werte für die Regressionskoeffizienten und die Achsenabschnitte: Tabelle 32 und 33 im Anhang). Diese Unterschiede sind jedoch bei Jungen in keiner Altersgruppe signifikant oder wirklich bedeutsam. Die Zunahme des Skelettalters, bestimmt nach der TANNER-RUS-Methode, ist z.B. bei männlichen großwüchsigen Kleinkindern etwas größer als bei normalwüchsigen, während bei älteren normalwüchsigen Schuljungen das Skelettalter relativ rascher ansteigt als bei Großwüchsigen. Diese Tenden ist verständlich,

weil alle Kinder gleich welchen Wuchses in einem bestimmten Alter eine volle Skelettausreifung aufweisen. Da die großwüchsigen Kinder schon früher ein höheres Skelettalter erreicht haben, ist häufig auch eher der Endpunkt der Skelettreifung erreicht, während die Normalwüchsigen diesen Endpunkt noch zustreben.

Die Mädchen zeigen in den drei Altersgruppen ein Verhalten, das sich von dem der Jungen nicht eindeutig unterscheidet. Zwar ist die Regressionsgerade bei den weiblichen normalwüchsigen Kleinkindern, gemessen für die TANNER-RUS-Methode, signifikant flacher als für die Großwüchsigen und, gemessen nach der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode, in der Gruppe der älteren Schulmädchen ab 10 Jahren signifikant steiler als bei den altersentsprechenden großwüchsigen Mädchen, bedeutsam jedoch erscheint auch dieser Unterschied nicht. Sowohl bei den Jungen wie den Mädchen dürfte bei Anwendung der beiden Skelettalterbestimmungsmethoden die unterschiedliche Größe der Differenzen der Steilheit der Regressionsgeraden zwischen Normal- und Groß- bzw. Minderwüchsigen in den einzelnen Altersgruppen methodenbedingt sein.
Vergleicht man sowohl bei Jungen wie bei Mädchen (Abbildungen 29 und 30) die Geschwindigkeit der Größenzunahme in den einzelnen Altersgruppen, so stellt man außer dem deutlichen Niveauunterschied, der durch die absoluten Größendifferenzen bedingt ist, einige zwar nicht signifikante, jedoch bedeutsame Unterschiede fest. Bei den normalwüchsigen jüngeren Schuljungen (6,0 bis 10,0 Jahre) nimmt die Größe eindeutig rascher zu als bei den minderwüchsigen. Die großwüchsigen Mädchen zeigen in allen Altersgruppen eine steilere Zunahme der Größe als die normalwüchsigen. Während bei den weiblichen normalwüchsigen Kleinkindern und den jüngeren Schulmädchen die Zunahmegeschwindigkeit der Größe höher ist, ist sie bei den älteren

minderwüchsigen Schulmädchen eindeutig schneller als bei den normalwüchsigen.
Abgesehen von der unterschiedlichen absoluten Differenz zwischen Skelett- und Lebens-Alter sowie Längenalter und Lebensalter zeigen sich sowohl bei normal- wie bei minderwüchsigen Jungen sehr gute Parallelen zwischen dem Anstieg des nach der TANNER-RUS- und der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode gemessenen Skelettalters und der Zunahme des Größenalters. Für Großwüchsige gilt dies auch für die Kinder bis 10,0 Jahren. Danach ist die Zunahme des Größenalters eindeutig rascher als die des Skelettalters. Dies beweist jedoch nur, daß die Längenzunahme des Skeletts und die Reifungszunahme des Skeletts zwei Faktoren sind, die nicht gleichgesetzt werden dürfen.
Für Mädchen bringt der Vergleich zwischen Längenalterzunahme und Skelettalterzunahme gegenüber den Jungen ein unterschiedliches Ergebnis. Bei den jüngeren und insbesondere den älteren großwüchsigen Schulmädchen ist die Skelettreifung bedeutend langsamer als die Größenzunahme. Dennoch besteht eine relativ gute Parallelität zwischen Skelettalter- und Größenalterzunahme, da z.B. bei Anwendung der TANNER-RUS-Methode Größen- und Skelettalterzunahme bei den Kleinkindern am größten und bei den älteren Schulmädchen am geringsten sind.

Diskussion der Ergebnisse:

Bei der Bewertung der untersuchten Skelettalterbestimmungsmethoden für normalwüchsige Kinder wurde festgestellt, daß die Beziehung zwischen Skelettalter und Lebensalter als Entwicklungsparameter der Beziehung Skelettalter zu Größenalter überlegen ist.

Unverändert wichtig ist jedoch der Vergleich von Lebens- und Größenalter.
Auch für die minder- und großwüchsigen Kinder hat sich dies bestätigt. Aus dem Vergleich der Zunahme des Längenalters und des Skelettalters lassen sich bei Minder- und Großwüchsigen keine Rückschlüsse auf die Anwendbarkeit der Skelettalterbestimmungsmethoden ziehen.

Eindeutig ist jedoch die Aussage, die durch den Vergleich des Skelettreifungsverhaltens bei normal-, minder- und großwüchsigen Kindern gemacht werden kann. In keiner Altersgruppe sind die Unterschiede zwischen der Zunahme des Skelettalters wie es nach der TANNER-RUS- und der GREULICH-PYLE-Inspektions-Methode festgelegt wurde, zwischen Normal- und Minderwüchsigen bzw. Normal- und Großwüchsigen bedeutend. Dieser fehlende grundsätzliche Unterschied im Skelettreifungsverhalten spricht dafür, daß sowohl die TANNER-RUS- wie auch die GREULICH-PYLE-Inspektions-Methode auch bei groß- und minderwüchsigen Jungen und Mädchen gut anwendbar ist.
Für die Richtigkeit dieser Ergebnisse mag auch die Feststellung von ROCHE und WERRENHALL (133) sprechen, daß bei Verwendung der für Normalwüchsige konzipierten Skelettalterbestimmungsmethode nach GREULICH-PYLE (64) die Größenvorhersagegenauigkeit bei groß- und normalwüchsigen Mädchen gleich gut ist. Dies könnte nicht der Fall sein, wenn die GREULICH-PYLE-Methode (64) nicht bei Großwüchsigen anwendbar wäre bzw. falsche Skelettalterwerte ergäbe. -

5. Zusammenfassung:

Die Bedeutung des Skelettalters als wichtiger Entwicklungsparameter ist allgemein anerkannt. Die Bestimmung des Skelettalters wird heute meist anhand von Röntgenaufnahmen der linken Hand vorgenommen. Die Hand bietet sich an, da sie ohne Schwierigkeiten geröngt werden kann. Außerdem können Kontrollen leicht durchgeführt und auch verantwortet werden, da die Strahlendosis gering ist. Die Repräsentanz der Hand für die Entwicklung der übrigen Skelettabschnitte ist erwiesen; die Seitendifferenzen zwischen rechts und links sind unerheblich.

Die Bestimmung des Skelettalters ist jedoch nur möglich, wenn Vergleichsbilder von gesunden altersgleichen Kindern in ausreichender Zahl zur Beurteilung herangezogen werden können. Solche Standards unterschiedlicher Art wurden von mehreren Autoren erarbeitet. Bedingung ist in jedem Fall, daß für Jungen und Mädchen getrennte Standards vorliegen. Die gebräuchlichsten Methoden zur Skelettalterbestimmung sind die von GREULICH und PYLE (64) in den USA und die von TANNER, WHITEHOUSE und Mitarbeitern (169) in England entwickelten Verfahren. Außer der Kenntnis der Genauigkeit dieser Methoden im Ursprungsland ist die Feststellung der Anwendbarkeit dieser Methoden bei anderen Populationen wichtig. Untersuchungen in mehreren Ländern der Erde zeigten unterschiedlich große Abweichungen zwischen der Skelettentwicklung der Kinder verschiedener Länder.

Daher erschien es wichtig zu überprüfen, ob die Altersstandards, die bei Kindern aus dem Düsseldorfer Raum zu gewinnen sind, mit den Standard der genannten Bestimmungsmethoden übereinstimmen bzw.

in welcher Weise sie von Ihnen abweichen.
Es zeigte sich, daß die TANNER-20-B-Kombinationsmethode sowohl bei Jungen wie bei Mädchen aus dem Düsseldorfer Raum gut anwendbar ist. Nur bei den 6- bis 10-jährigen Mädchen muß eine leichte Korrektur des Skelettalters vorgenommen werden. Auch bei der TANNER-RUS-Methode fand sich für Jungen aller Altersgruppen und für weibliche Kleinkinder eine gute Übereinstimmung zwischen Skelettalter und Lebensalter. Bei den über 6-jährigen Mädchen ist allerdings eine Skelettalterkorrektur erforderlich. Die TANNER-Carpal-Methode bedarf bei männlichen Kleinkindern (2 bis 6 Jahre) und älteren Schuljungen (10 Jahre und älter) sowie Mädchen im Schulalter einer Korrektur.
Die heute noch am häufigsten verwendete Methode von GREULICH-PYLE, die sogenannte Inspektionsmethode, benötigt bei Jungen ab 2 Jahren und bei Mädchen zwischen 6 und 10 Jahren eine Korrektur. Eine solche Korrektur ist auch bei der knochenspezifischen GREULICH-PYLE-Summationsmethode in allen Altersgruppen der Jungen und Mädchen erforderlich.
Die Korrekturwerte liegen je nach Methode und Altersgruppe bei den TANNER-Methoden zwischen -0,25 und +1,0 Jahren und für die GREULICH-PYLE-Methodik zwischen 0,25 und +1,0 Jahren.

Die Exaktheit der Bestimmung des Skelettalters, gemessen als sogenannter Intra- und Inter-Beurteiler-Fehler, lag in der vorliegenden Untersuchungsserie in dem in der Literatur mitgeteilten und geforderten Bereich. Je nach Methode ergab sich ein Intra-Beurteiler-Fehler zwischen 2,1 und 4,7 Monaten; am geringsten war er bei der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode. Der Inter-Beurteiler-Fehler lag durchschnittlich bei 1,8 bis 2,8 Monaten.

Sehr unterschiedlich war der Zeitaufwand für die Bestimmung des Skelettalters; er lag zwischen 8 bis 10 Minuten bei der GREULICH-PYLE-knochenspezifischen-Summationsmethode und 2 bis 3 Minuten bei der GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode.

Die GREULICH-PYLE-knochenspezifische-Summationsmethode war nur unzureichend durchführbar, insbesondere weil nicht für alle Entwicklungsstadien exakte Angaben über die jeweiligen Reifekriterien gemacht wurden.
Nachteilig bei der TANNER-Carpal-Methode ist ihre Beschränkung auf Mädchen bis 13 Jahren und Jungen bis 15 Jahren. Außerdem erscheint es nicht sinnvoll, das Skelettalter nur nach den Carpalia unter Außerachtlassen der anderen Knochenkerne der Hand zu bestimmen. Unter Verwendung der ermittelten Korrekturwerte erwiesen sich die GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode, die TANNER-20-B-Kombinationsmethode und die TANNER-RUS-Methode für die Anwendung bei westdeutschen Kindern als am günstigsten. Für die GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode wurde eine Tabelle mit korrigierten Standardwerten als Vorschlag zur einfachen Verwendung bei der Skelettalterbestimmung mit dem Atlas von GREULICH-PYLE (64) erstellt.

Bei den normalwüchsigen Jungen und Mädchen wurde eine nahezu gleich gute Korrelation zwischen Skelett- und Größenalter wie zwischen Skelett- und Lebensalter festgestellt. Es ist jedoch günstiger, das Skelettalter auch weiterhin in erster Linie in Beziehung zum Lebensalter zu setzen. Die Differenz von Skelett- und Größenalter kann höchstens zusätzliche diagnostische Hinweise geben.

Das Gewichtsalter ist als Parameter hinsichtlich der Relation zum Skelettalter nicht bedeutungsvoll. Nur bei adipösen Kindern könnte der Vergleich sinnvoll sein, da bei diesen das Skelettalter häufig gegenüber dem normalwüchsiger, normalgewichtiger Kinder beschleunigt ist.
Wegen der klinischen Relevanz interessierte, welche Skelettalterbestimmungsmethoden bei groß- und minderwüchsigen Jungen und Mädchen anwendbar sind. Dies wurde für die TANNER-RUS- und die GREULICH-PYLE-Inspektionsmethode überprüft. Die TANNER-20-B-Kombinationsmethode wurde hier nicht berücksichtigt, weil nur die Ergebnisse der Skelettalterbestimmung nach den beiden anderen Methoden für die Endgrößenberechnung nach TANNER (169) bzw. BAYLEY und PINNEAU (17) als wichtige Parameter (neben dem Lebensalter und der Ist-Größe) herangezogen werden können.

Bei der Anwendung der geeigneten Methoden auf die groß- und minderwüchsigen Kinder ergab es sich, daß bei den <u>großwüchsigen</u> Jungen das Skelettalter das Lebensalter um durchschnittlich +1,4 Jahre übertraf, bei den Mädchen um +1,37 Jahre. Bei den <u>minderwüchsigen</u> Jungen lag das Skelettalter um durchschnittlich -1,58 Jahre tiefer, bei den Mädchen um -1,05 Jahre.
Die Erhöhung des Skelettalters bei den großwüchsigen Jungen erreichte aber kaum jemals das Ausmaß der Erhöhung des Größenalters, bei den minderwüchsigen Kindern kaum je das Ausmaß der Verminderung des Größenalters. Hierbei ist aber in jedem Einzelfall die Ursache der Größenabweichung zu bedenken. So ist z.B. bei der Hypothyreose das Skelettalter stärker beeinträchtigt als das Größenalter, während beim hypophysären Minderwuchs das Verhältnis umgekehrt ist (72).

Wenn sich somit die Skelettreifung bei den groß- und minderwüchsigen Kindern auf einem andersartigen Niveau vollzieht als bei den normalwüchsigen Kindern, so läuft sie dort ihrem Wesen nach gleichartig ab - gemessen an der Steilheit der Regressionsgeraden des Skelettalters in den drei Kindergruppen. Nur kommt die Reifung zu einem unterschiedlichen Zeitpunkt zum Abschluß. Diese Beobachtung beweist, daß die genannten Bestimmungsmethoden des Skelettalters (TANNER-RUS- und GREULICH-PYLE-Inspektions-Methode) in gleicher Weise auf groß- und minderwüchsige Kinder anwendbar sind wie auf normalwüchsige.

ABBILDUNGEN :

Erklärungen :

A1 = Altersgruppe 1 = Kleinkinder (2,0 bis < 6,0 Jahre)
A2 = Altersgruppe 2 = junge Schulkinder (6,0 bis < 10,0 Jahre)
A3 = Altersgruppe 3 = ältere Schulkinder (10,0 Jahre u. älter)

1. Knochenalter - 20 - B - = Tanner - 20 - B - Kombinationsmethode
2. Knochenalter - RUS - = Tanner - RUS - Methode
3. Knochenalter - Carpal - = Tanner - Carpal - Methode
4. Knochenalter - GP I - = Greulich - Pyle - Inspektionsmethode
5. Knochenalter - GP II - = Greulich - Pyle - Knochenspezifische - Summationsmethode

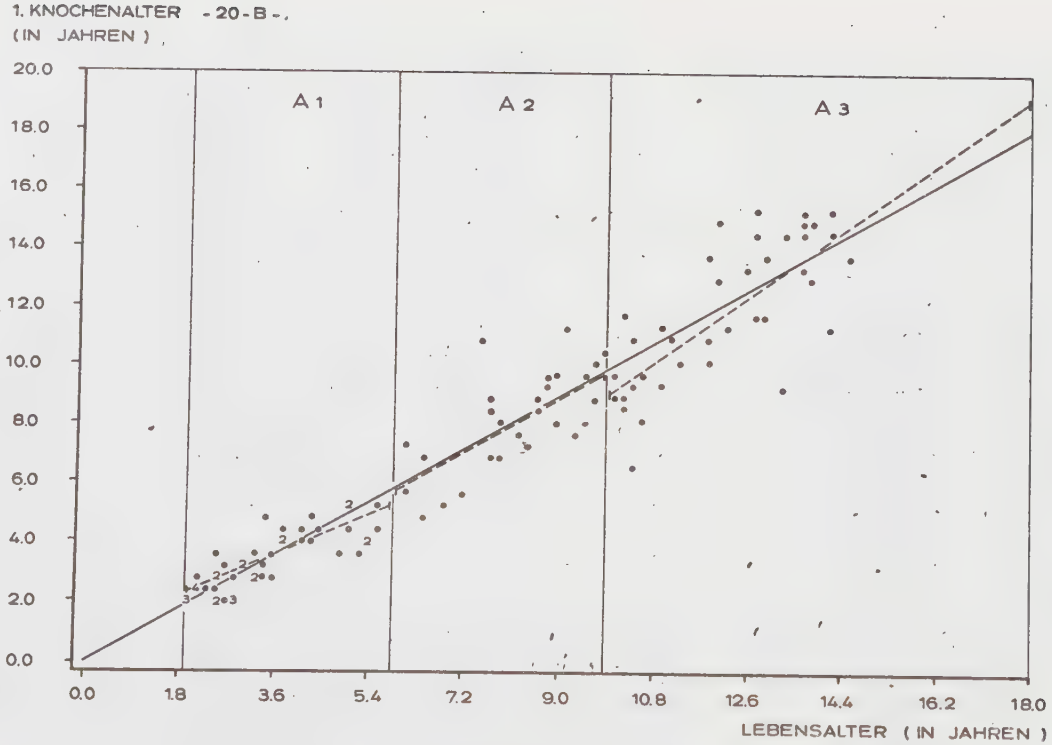

Abb. 1: VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (20-B) ZU LEBENSALTER
(normalwüchsige Jungen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

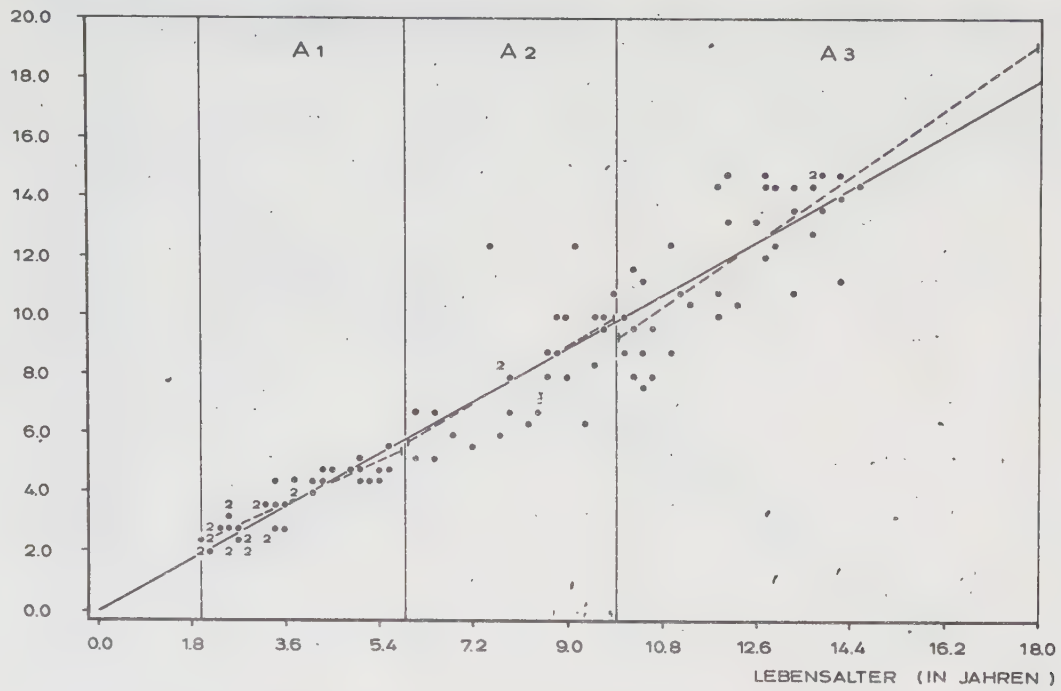

Abb. 2: VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (RUS) ZU LEBENSALTER
(normalwüchsige Jungen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

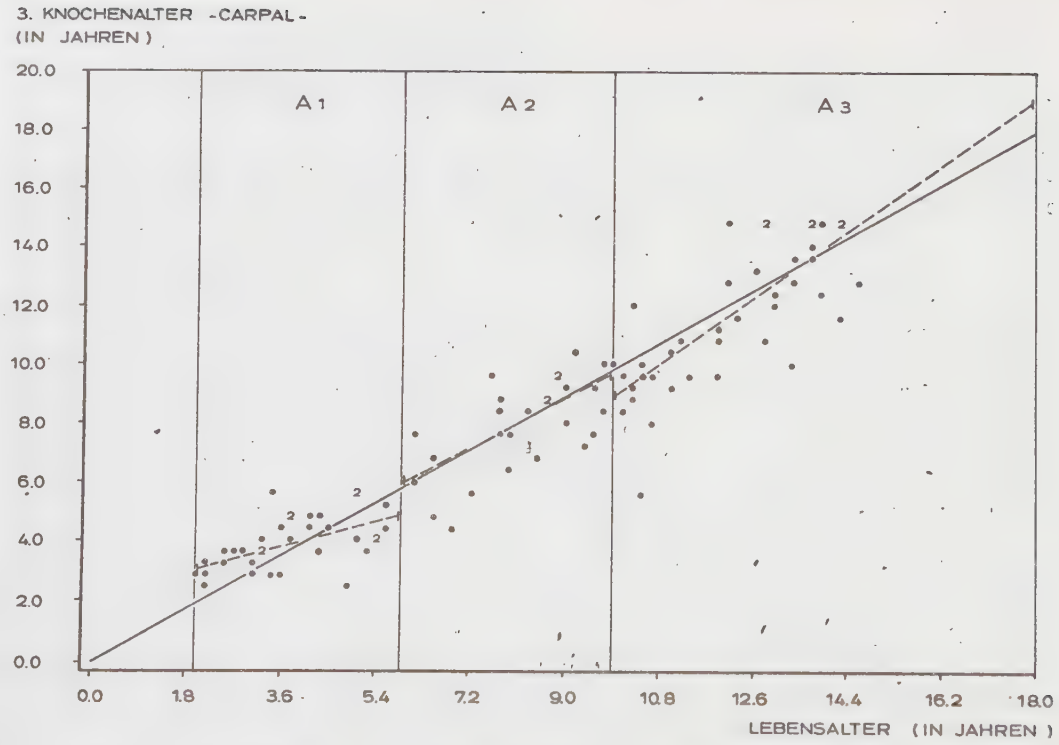

Abb. 3: VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (CARPAL) ZU LEBENSALTER
(normalwüchsige Jungen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

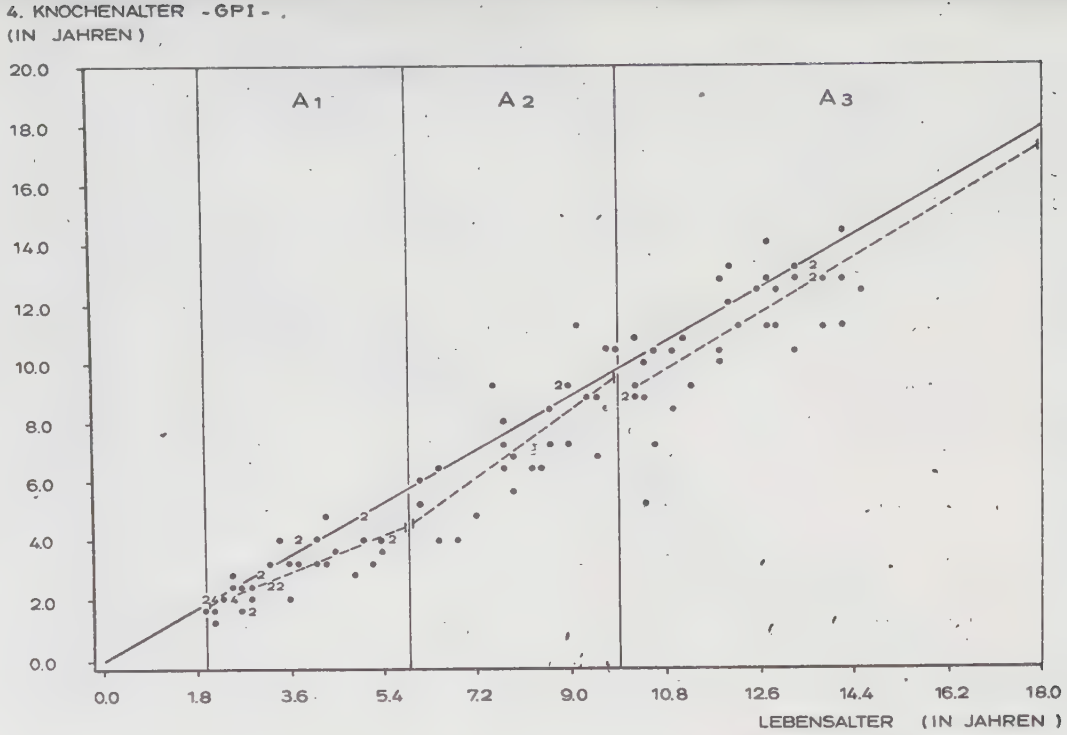

Abb. 4: VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (GP I) ZU LEBENSALTER
(normalwüchsige Jungen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

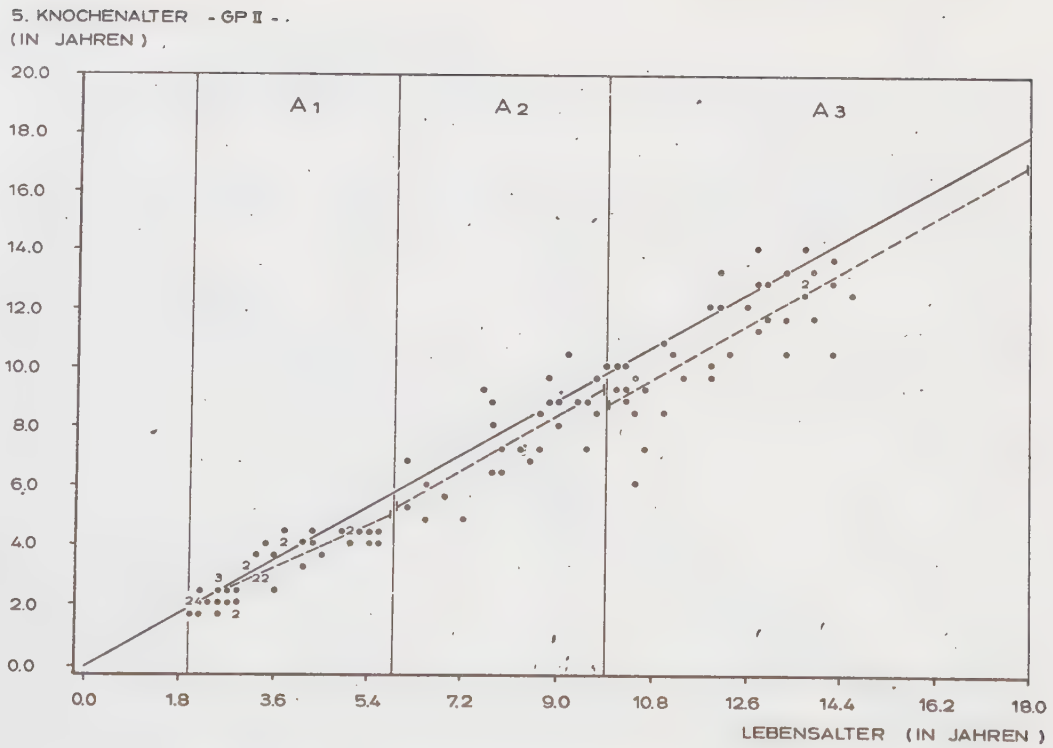

Abb. 5: VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (GP II) ZU LEBENSALTER
(normalwüchsige Jungen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

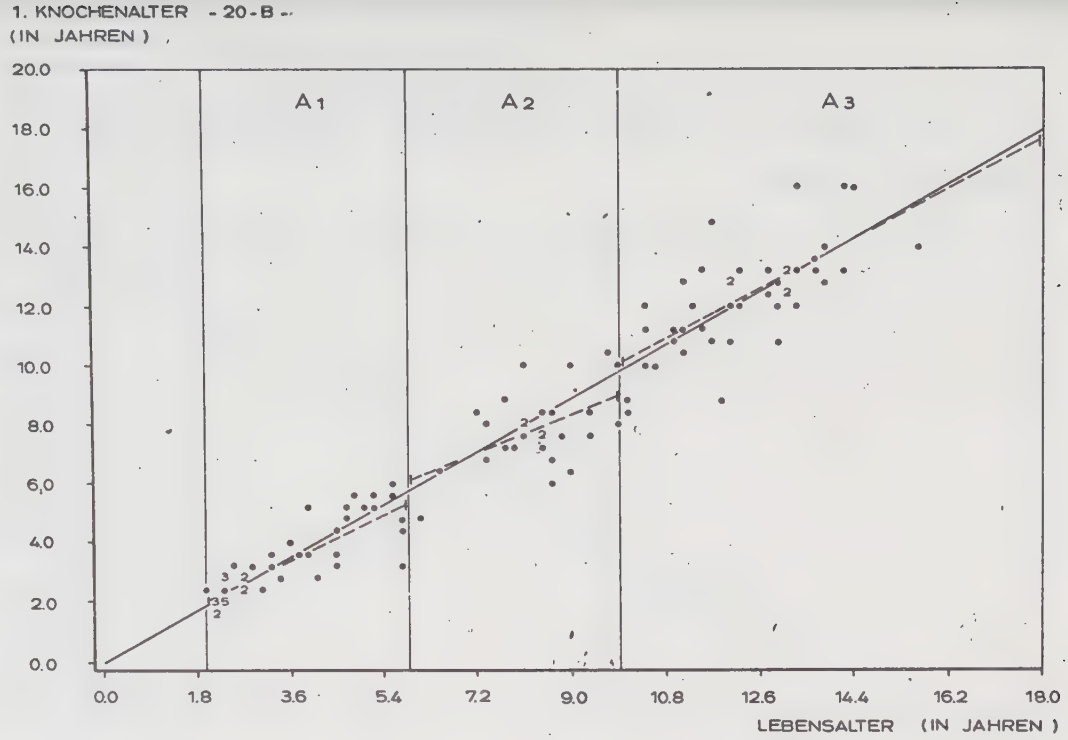

Abb. 6: VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (20-B) ZU LEBENSALTER
(normalwüchsige Mädchen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

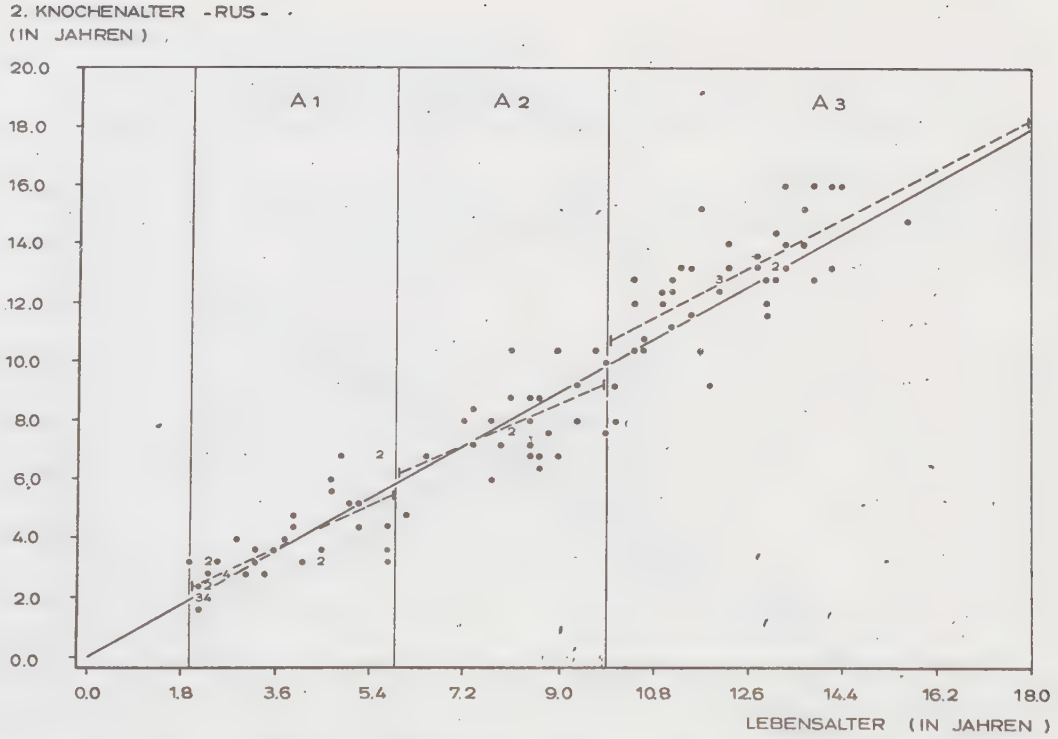

Abb. 7: VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (RUS) ZU LEBENSALTER
(normalwüchsige Mädchen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

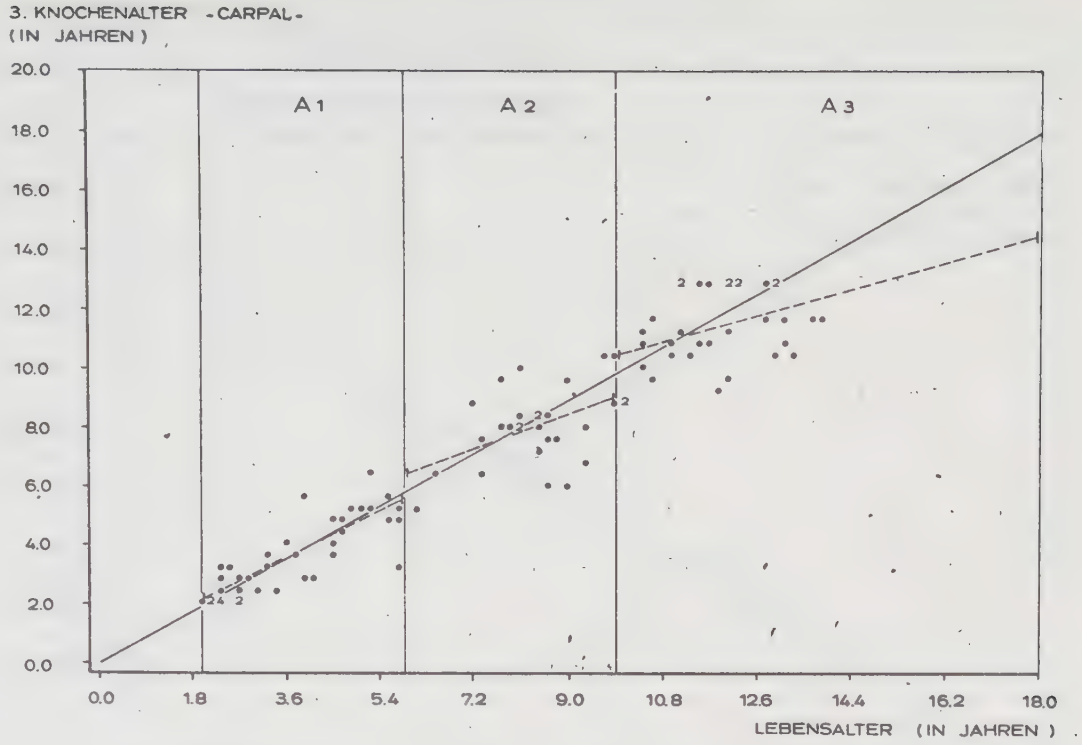

Abb. 8: VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (CARPAL) ZU LEBENSALTER
(normalwüchsige Mädchen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

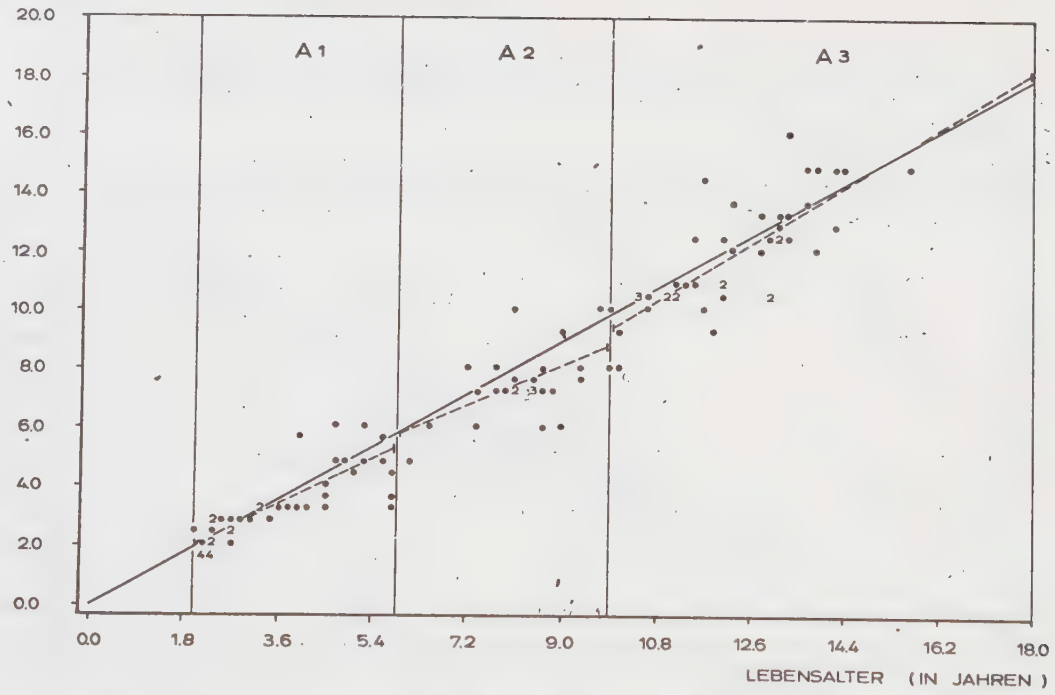

Abb. 9: VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (GP I) ZU LEBENSALTER
(normalwüchsige Mädchen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

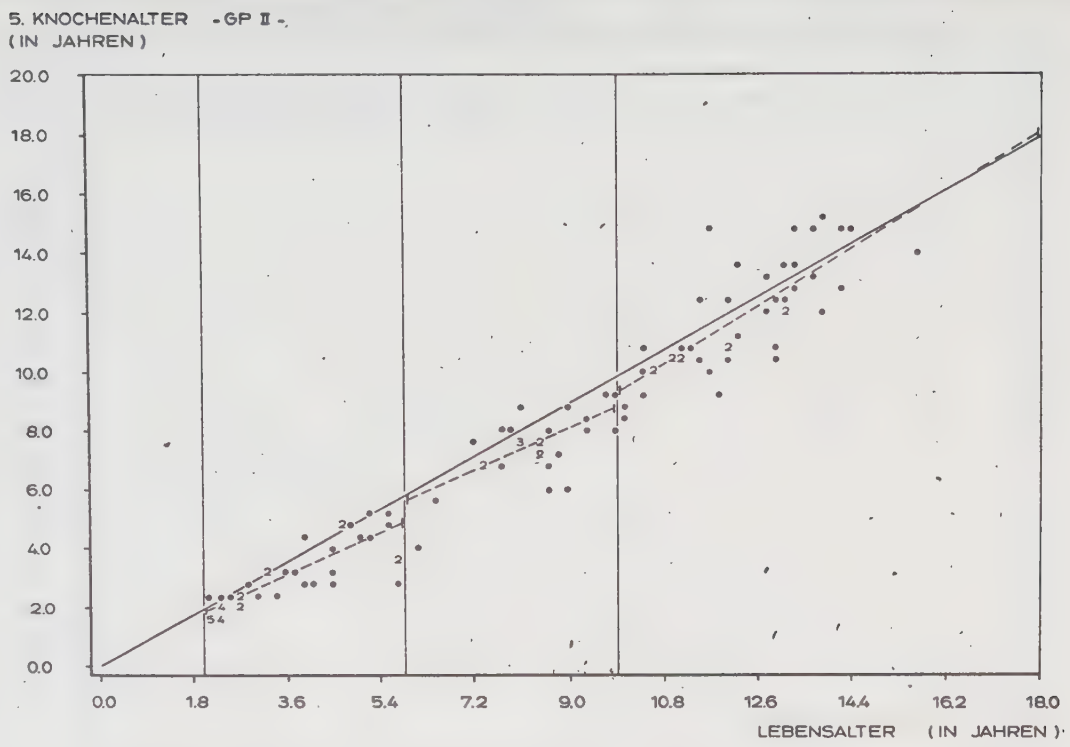

Abb. 10: VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (GP II) ZU LEBENSALTER
(normalwüchsige Mädchen)

⊢----⊣Regressionsgerade

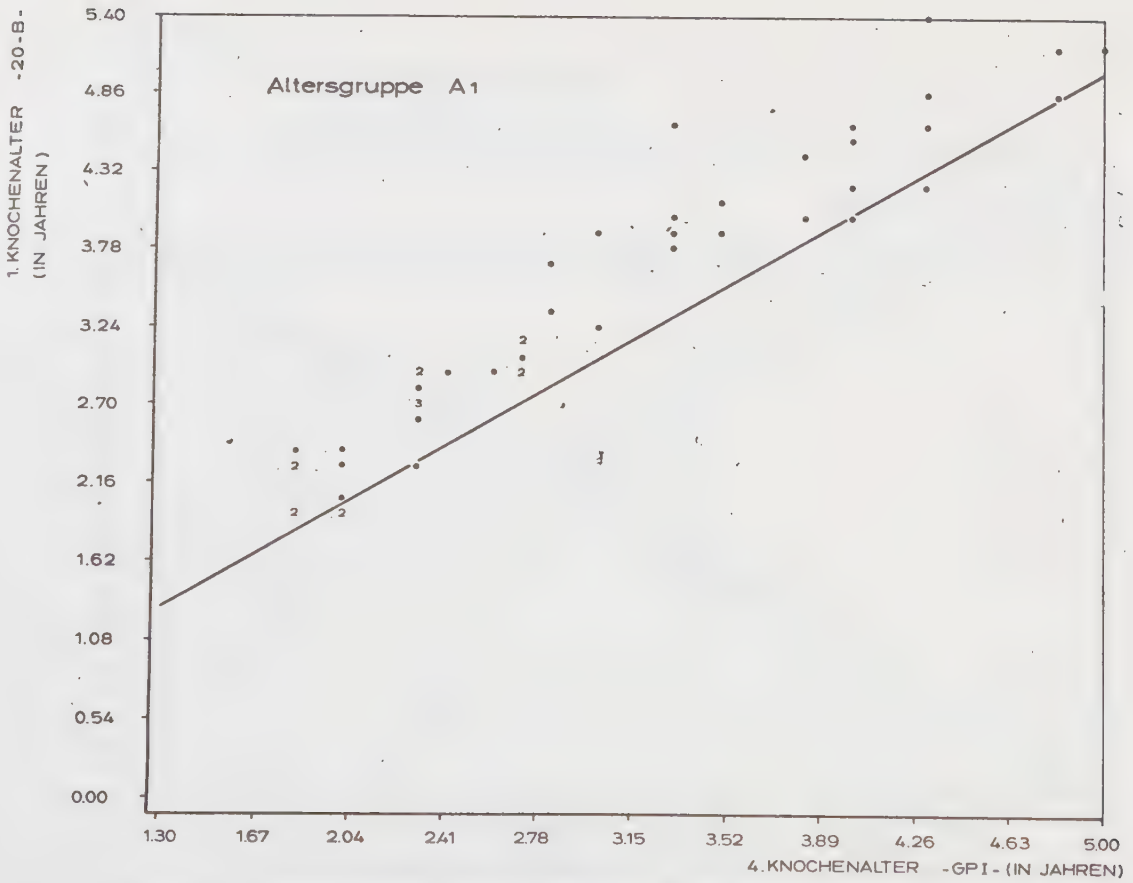

Abb. 11 : VERHÄLTNIS 1. KNOCHENALTER (20-B) ZU 4. KNOCHENALTER (GPI)
(normalwüchsige Jungen)

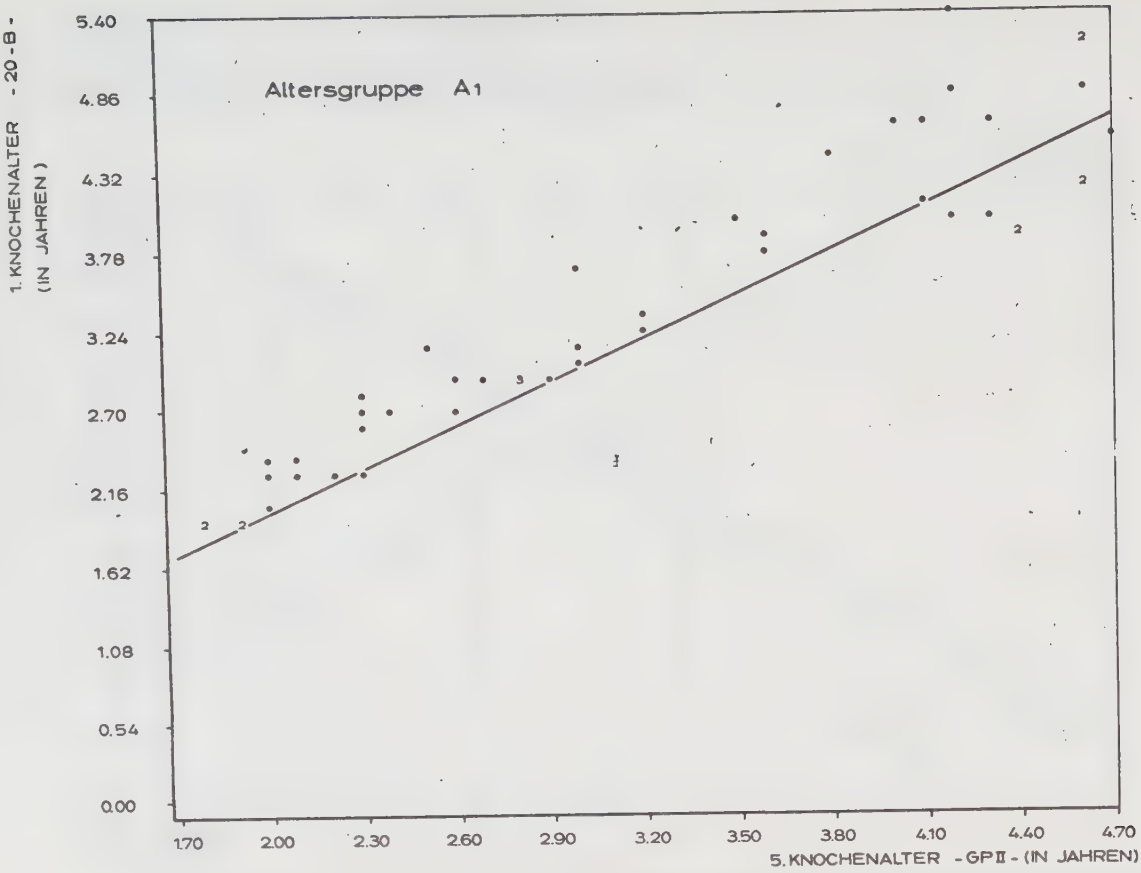

Abb. 12 : VERHÄLTNIS 1. KNOCHENALTER (20-B) ZU 5. KNOCHENALTER (GP II)
(normalwüchsige Jungen)

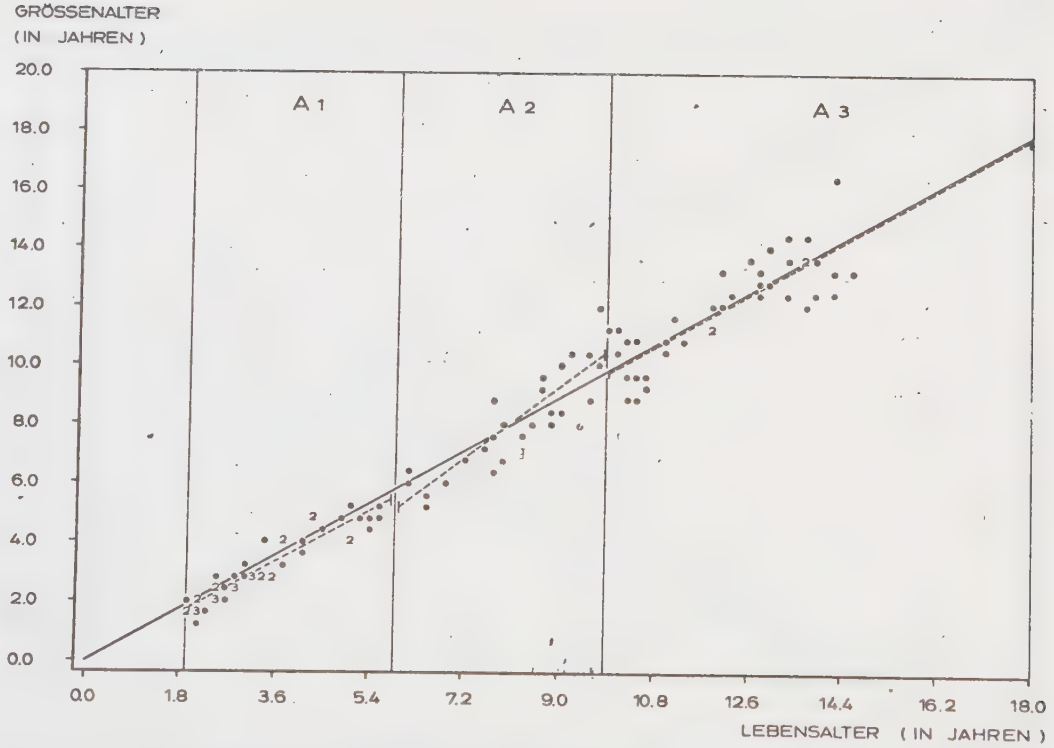

Abb. 13 : VERHÄLTNIS GRÖSSENALTER ZU LEBENSALTER
(normalwüchsige Jungen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

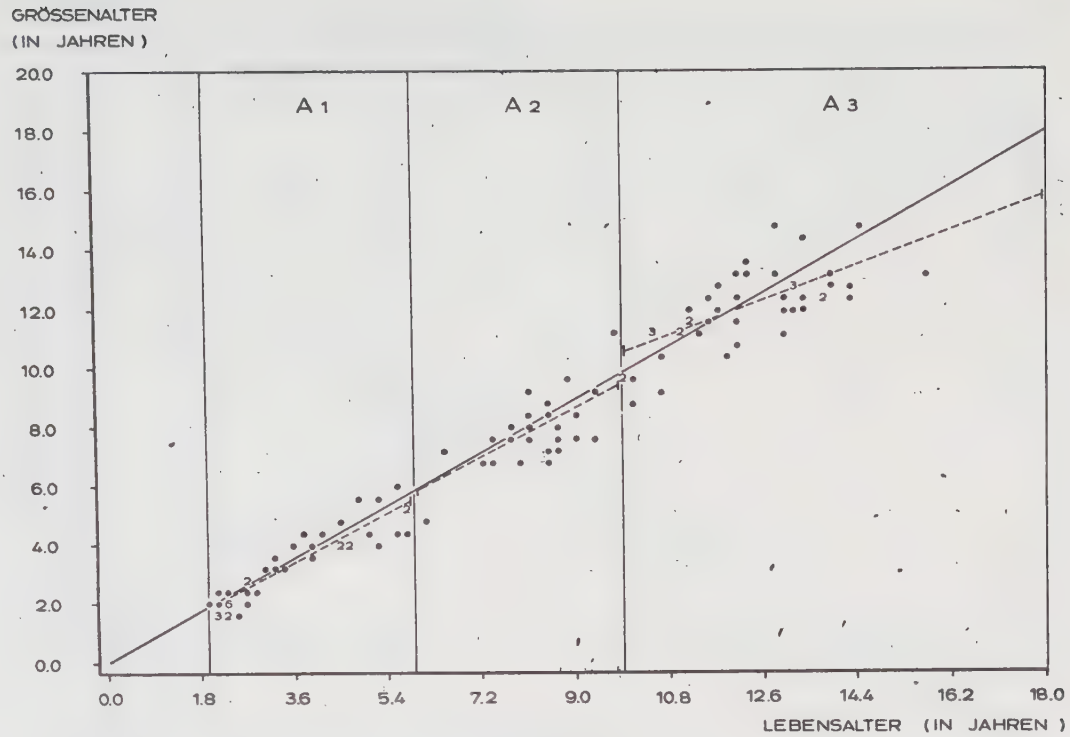

Abb. 14 : VERHÄLTNIS GRÖSSENALTER ZU LEBENSALTER
(normalwüchsige Mädchen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

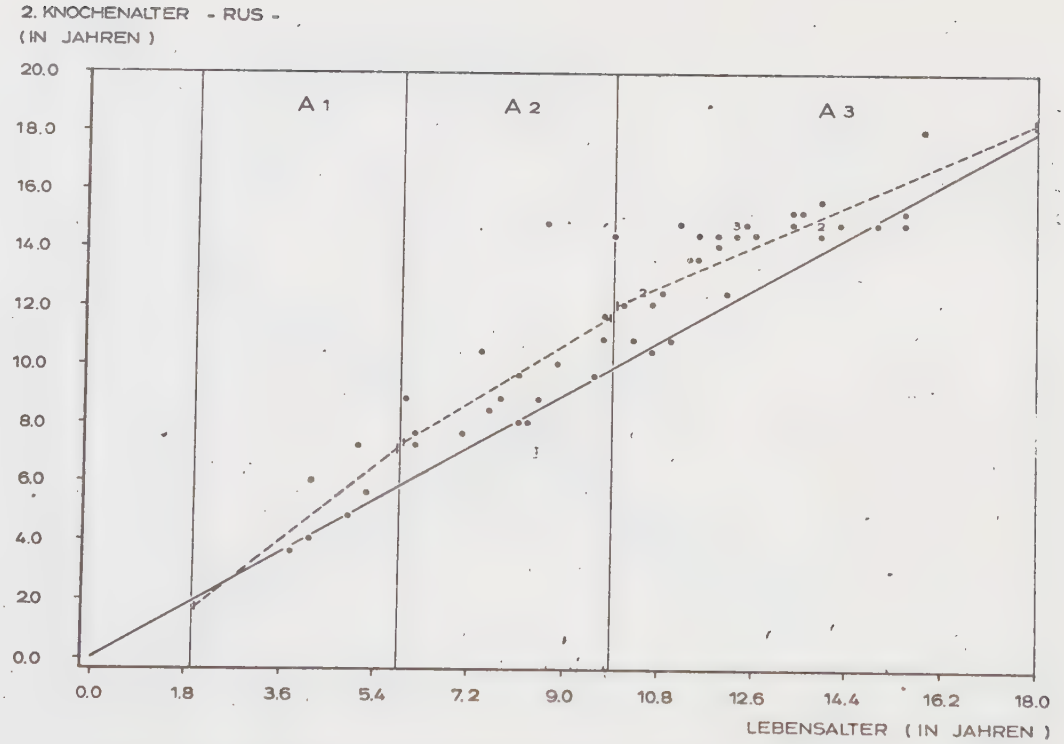

Abb. 15 : VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (RUS) ZU LEBENSALTER
(großwüchsige Jungen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

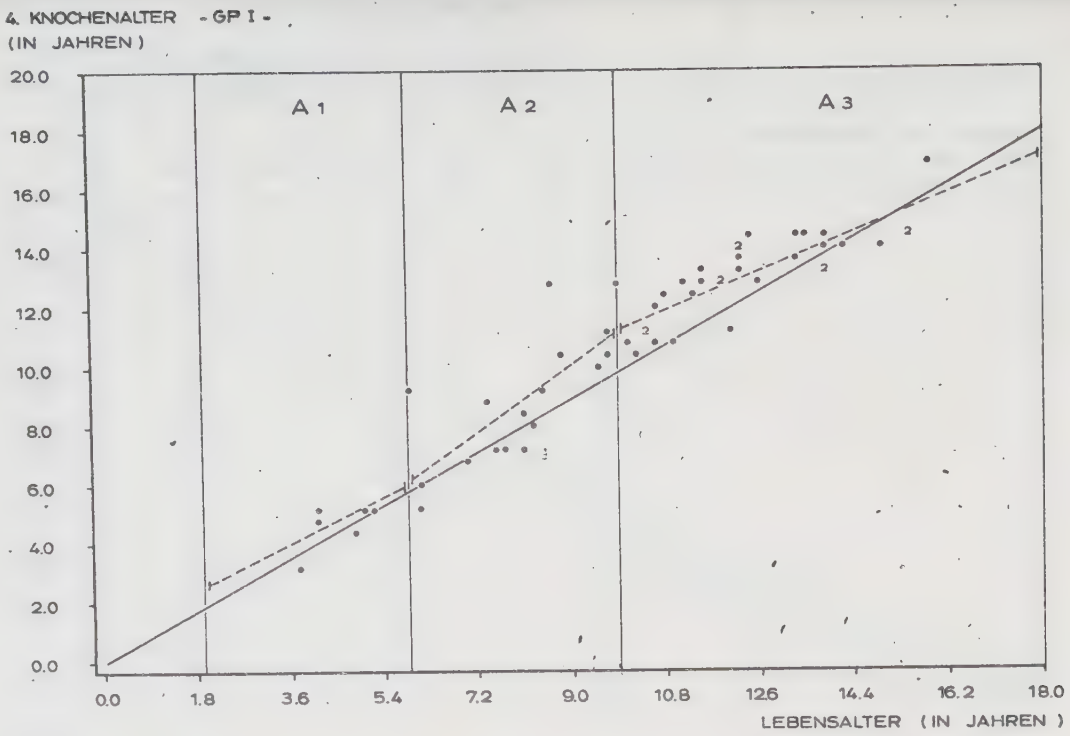

Abb. 16 : VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (GP I) ZU LEBENSALTER
(großwüchsige Jungen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

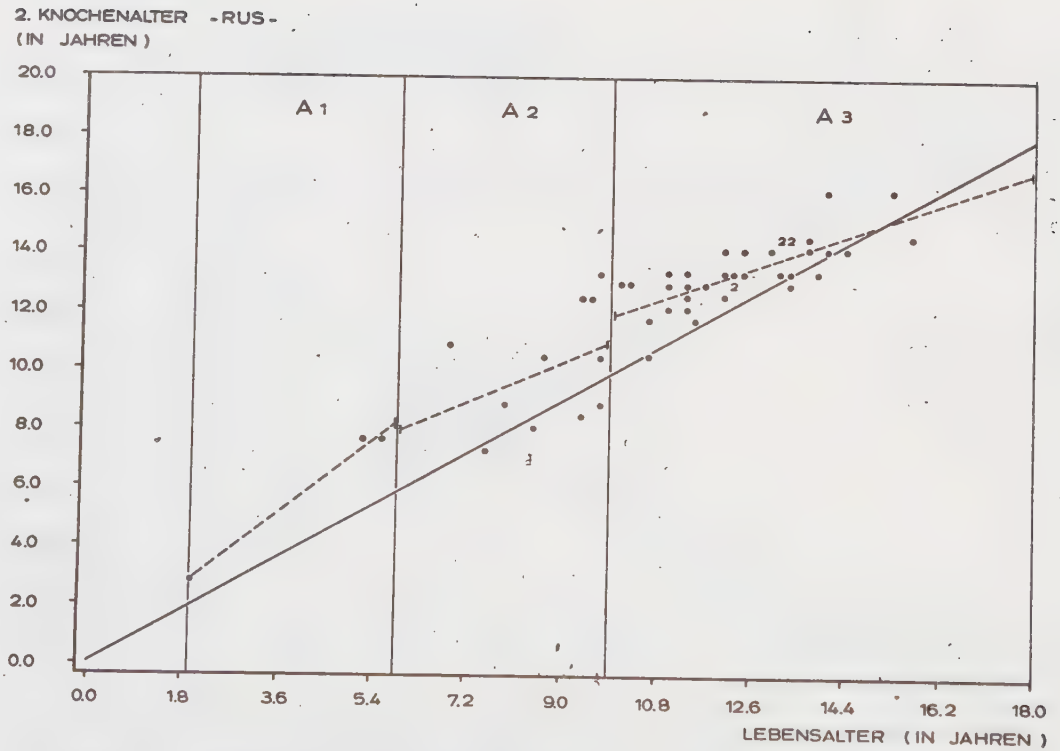

Abb. 17 : VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (RUS) ZU LEBENSALTER
(großwüchsige Mädchen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

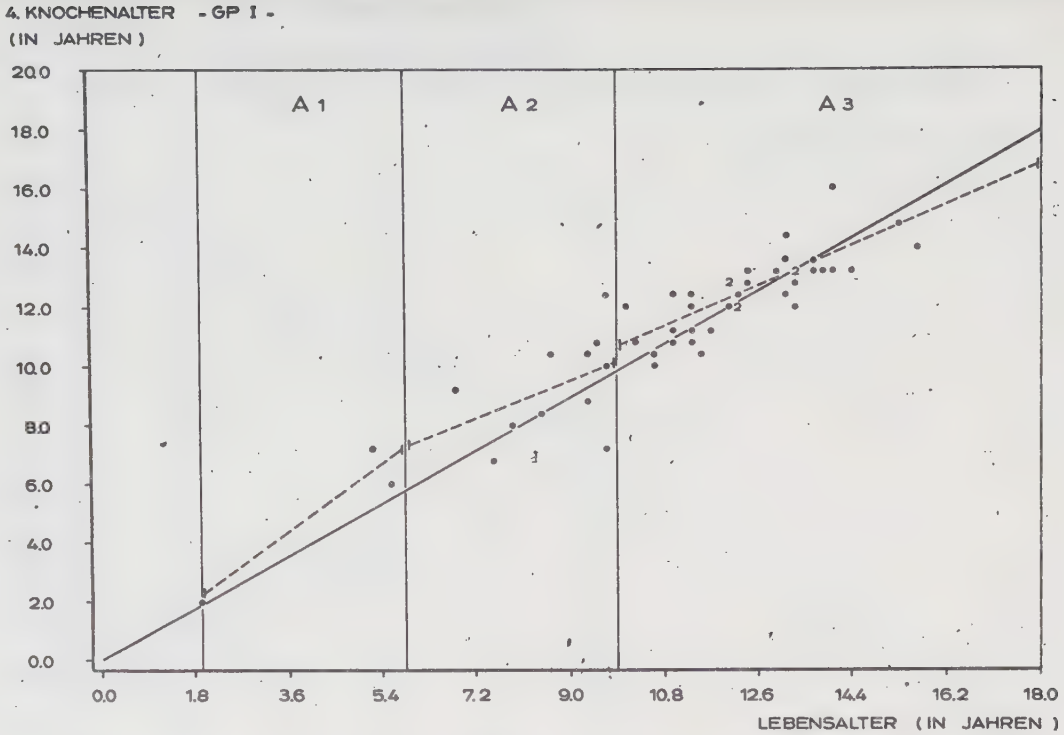

Abb. 18 : VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (GP I) ZU LEBENSALTER
(großwüchsige Mädchen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

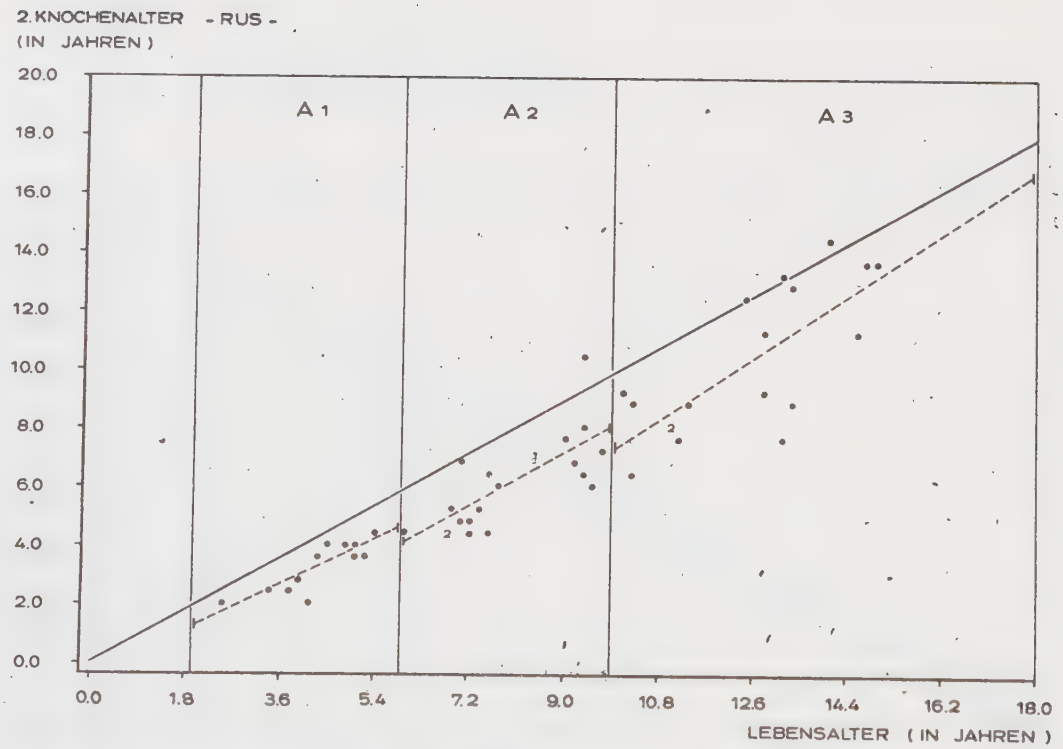

Abb. 19 : VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (RUS) ZU LEBENSALTER
(minderwüchsige Jungen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

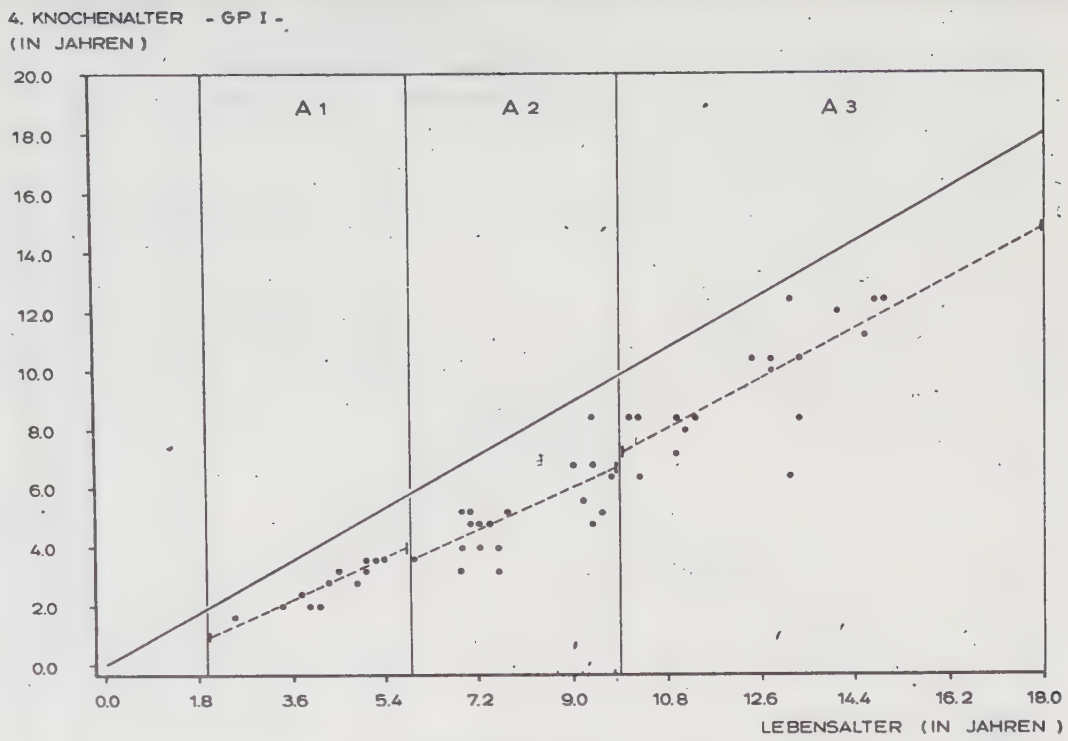

Abb. 20: VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (GP I) ZU LEBENSALTER
(minderwüchsige Jungen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

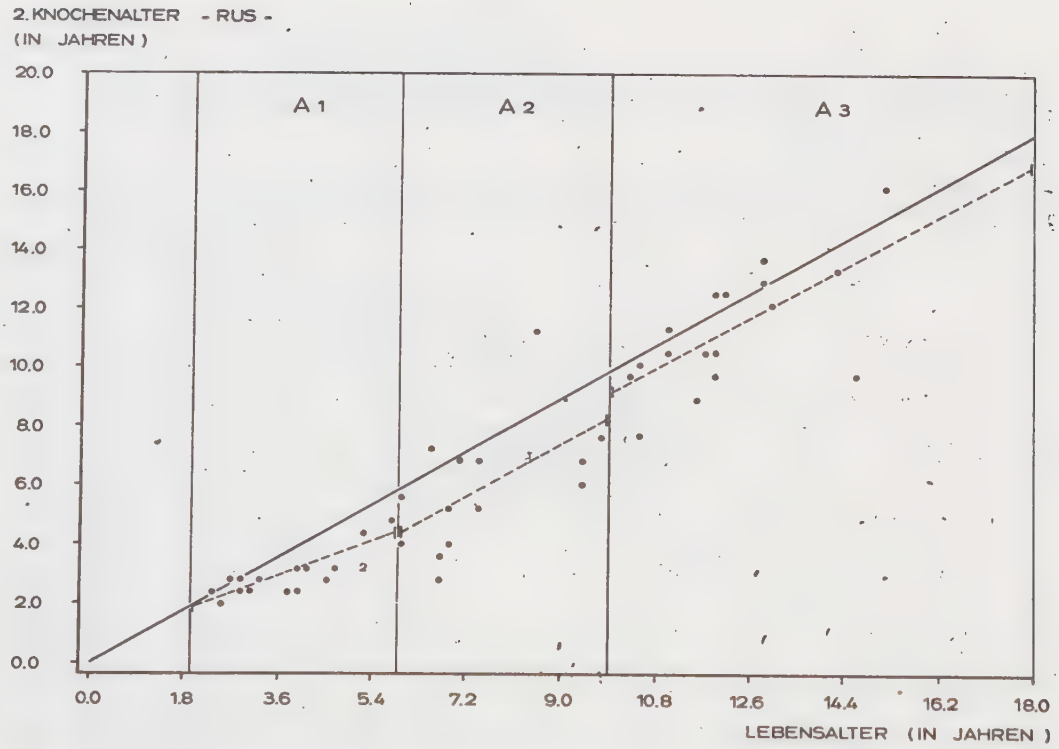

Abb. 21: VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (RUS) ZU LEBENSALTER
(minderwüchsige Mädchen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

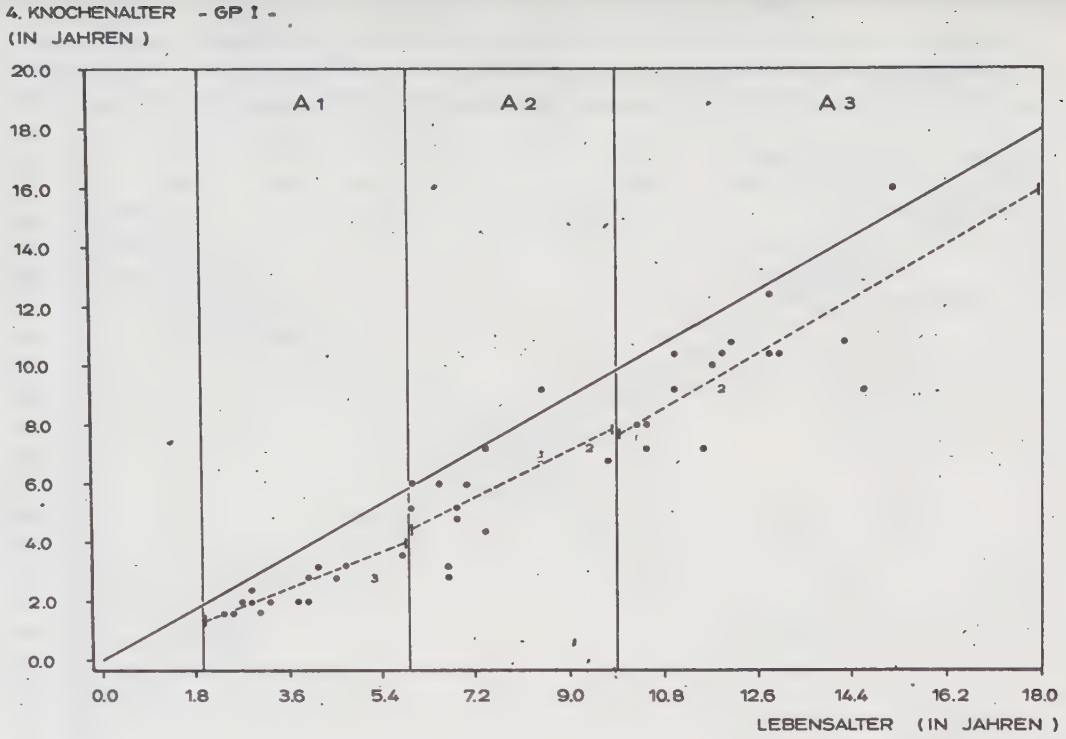

Abb. 22: VERHÄLTNIS KNOCHENALTER (GP I) ZU LEBENSALTER
(minderwüchsige Mädchen)

⊢----⊣ Regressionsgerade

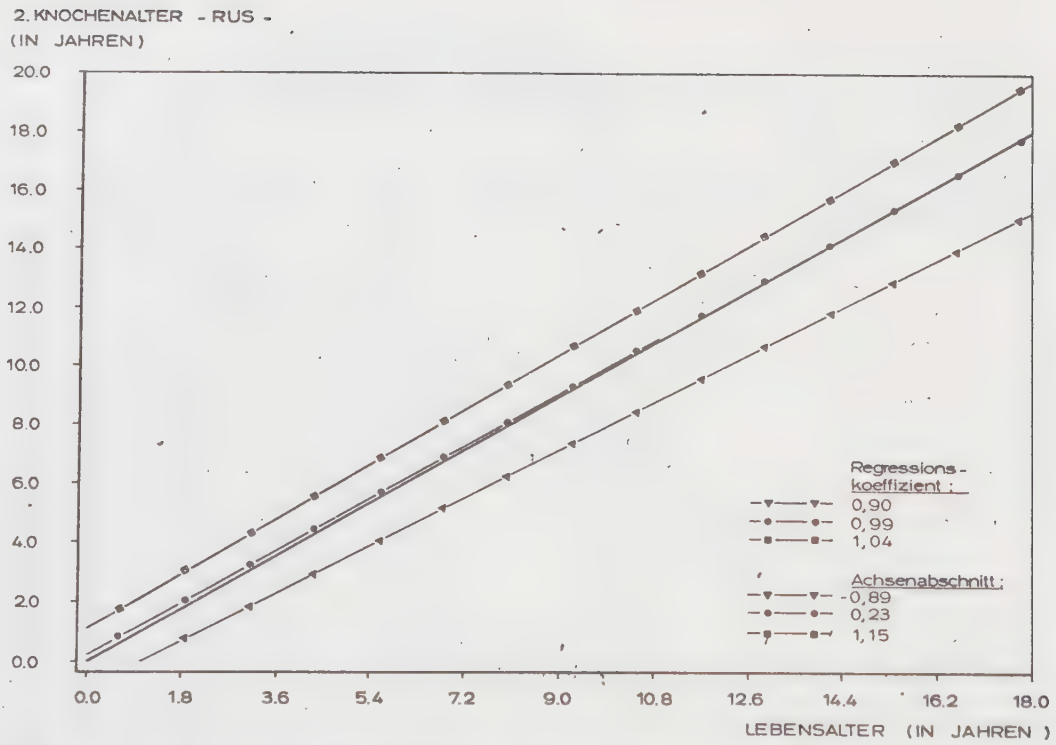

Abb. 23 : Die Regressionsgeraden bei minder- (-▾—▾-), normal - (-•—•-) und großwüchsigen (-▪—▪-) Jungen (alle drei Altersgruppen gemeinsam berechnet) als Maß der Reifungsgeschwindigkeit des Skeletts (Beurteilung nach der Tanner - RUS - Methode)

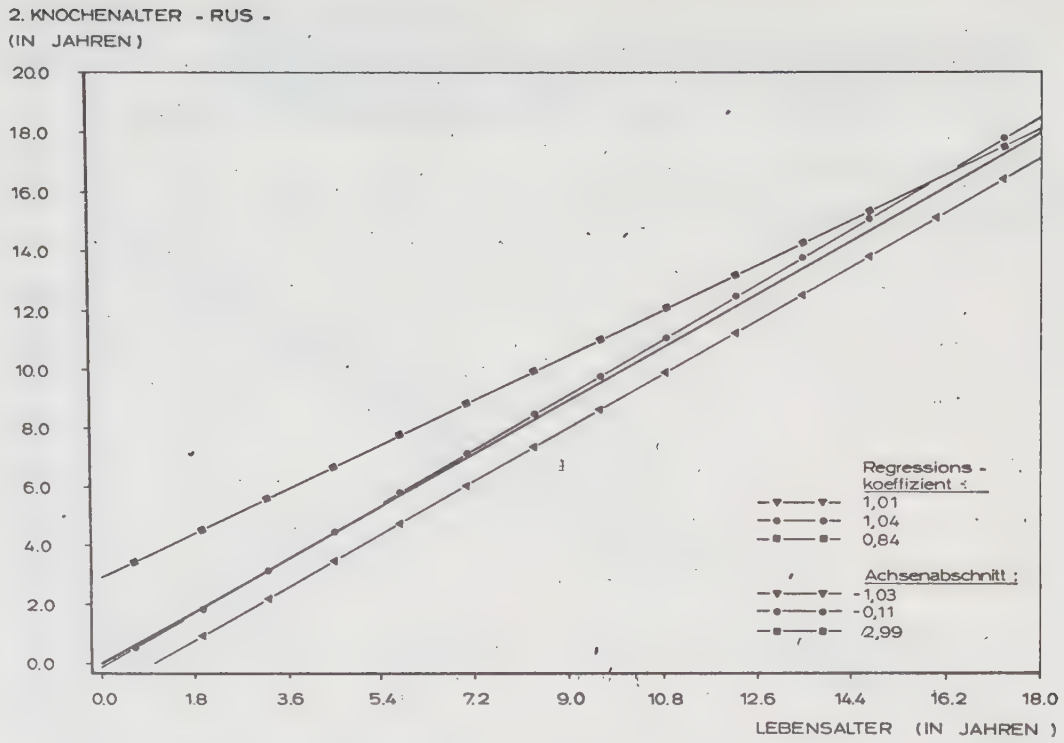

Abb. 24 : Die Regressionsgeraden bei minder- (-▾—▾-), normal - (-•—•-) und großwüchsigen (-▪—▪-) Mädchen (alle drei Altersgruppen gemeinsam berechnet) als Maß der Reifungsgeschwindigkeit des Skeletts (Beurteilung nach der Tanner - RUS - Methode)

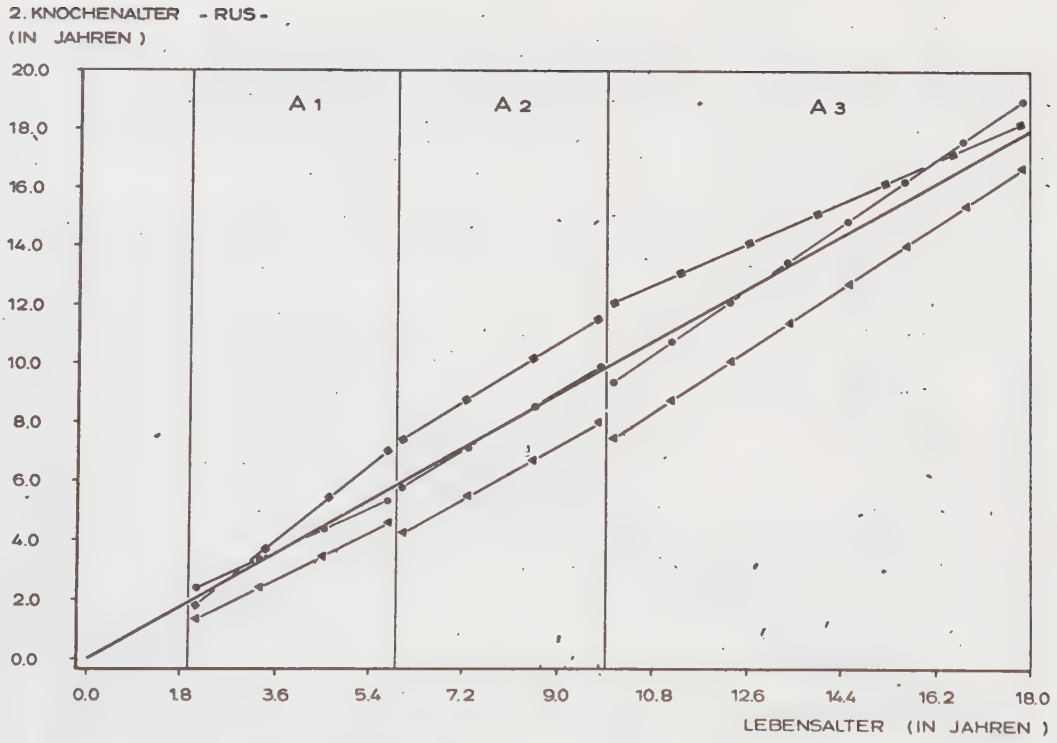

Abb. 25 : Die Regressionsgeraden bei minder-(-▾—▾-), normal-(-•—•-) und großwüchsigen (-▪—▪-) Jungen (alle drei Altersgruppen einzeln berechnet) als Maß der Reifungsgeschwindigkeit des Skeletts (RUS - Methode)

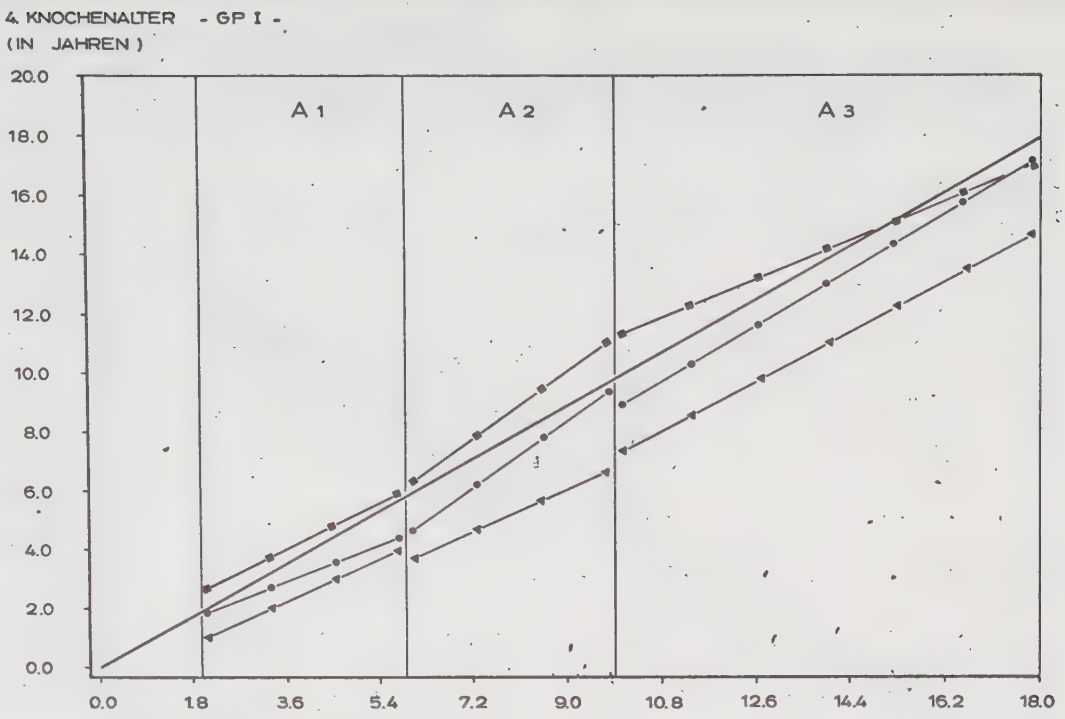

Abb. 26: Die Regressionsgeraden bei minder-(-▾—▾-), normal-(-•—•-) und großwüchsigen (-▪—▪-) Jungen (alle drei Altersgruppen einzeln berechnet) als Maß der Reifungsgeschwindigkeit des Skeletts (GP I - Methode)

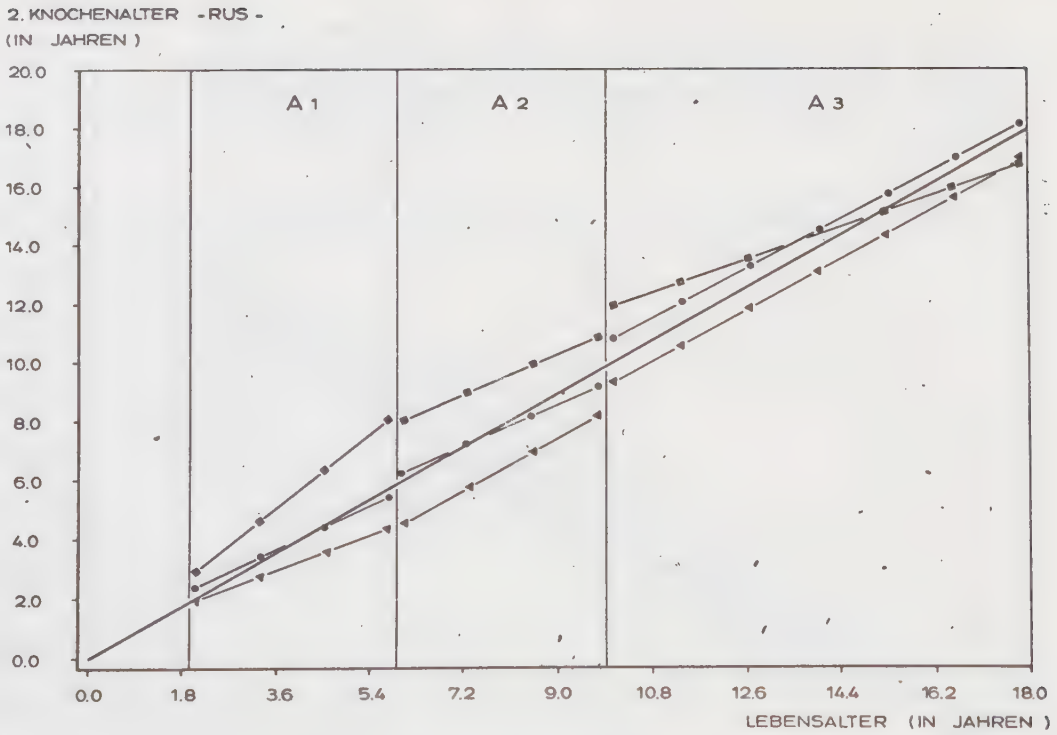

Abb. 27 : Die Regressionsgeraden bei minder-(-▾—▾-), normal-(-•—•-) und großwüchsigen (-▪—▪-) Mädchen (alle drei Altersgruppen einzeln berechnet) als Maß der Reifungsgeschwindigkeit des Skeletts (RUS - Methode)

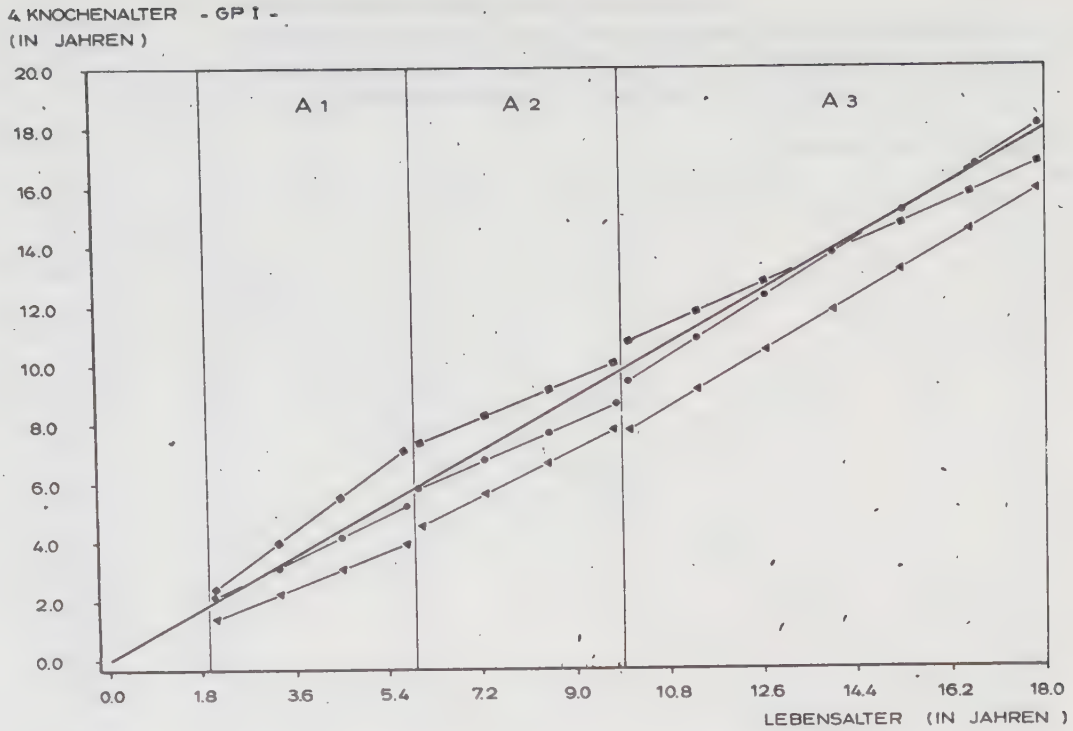

Abb. 28 : Die Regressionsgeraden bei minder- (-▾—▾-), normal - (-•—•-) und großwüchsigen (-•—•-) Mädchen (alle drei Altersgruppen einzeln berechnet) als Maß der Reifungsgeschwindigkeit des Skeletts (GP I -, Methode)

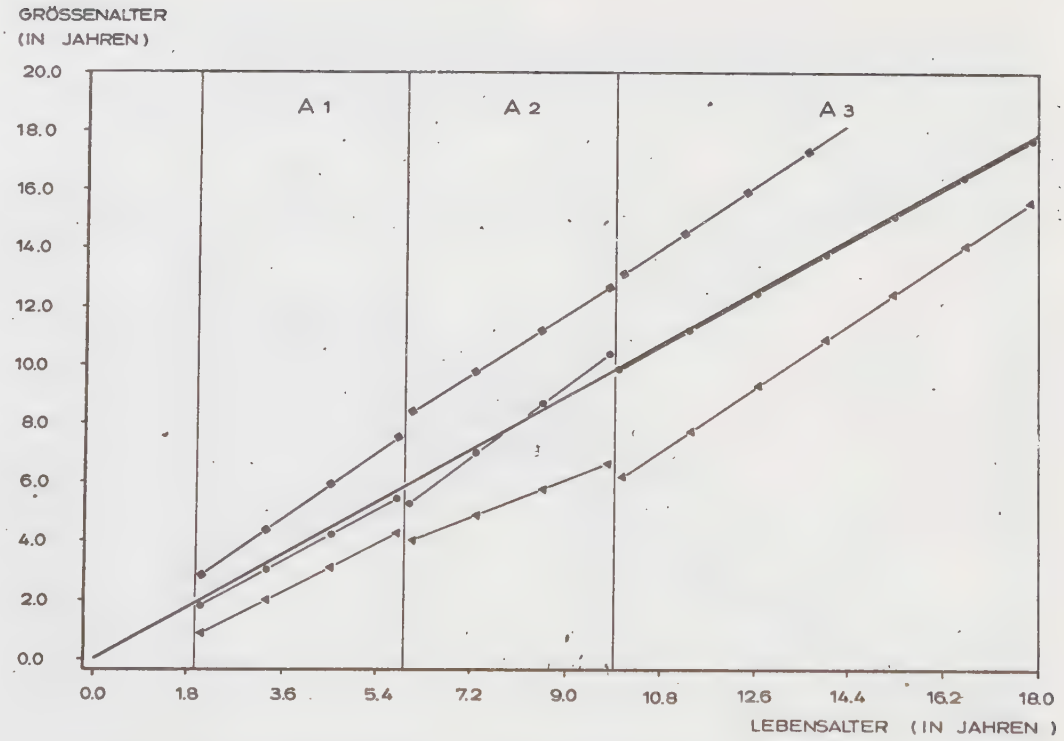

Abb. 29: Die Regressionsgeraden bei minder-(-▾—▾-), normal-(-•—•-) und großwüchsigen (-▪—▪-) Jungen (alle drei Altersgruppen einzeln berechnet) als Maß der Geschwindigkeit der Größenzunahme (Grössenalter bezogen auf Lebensalter)

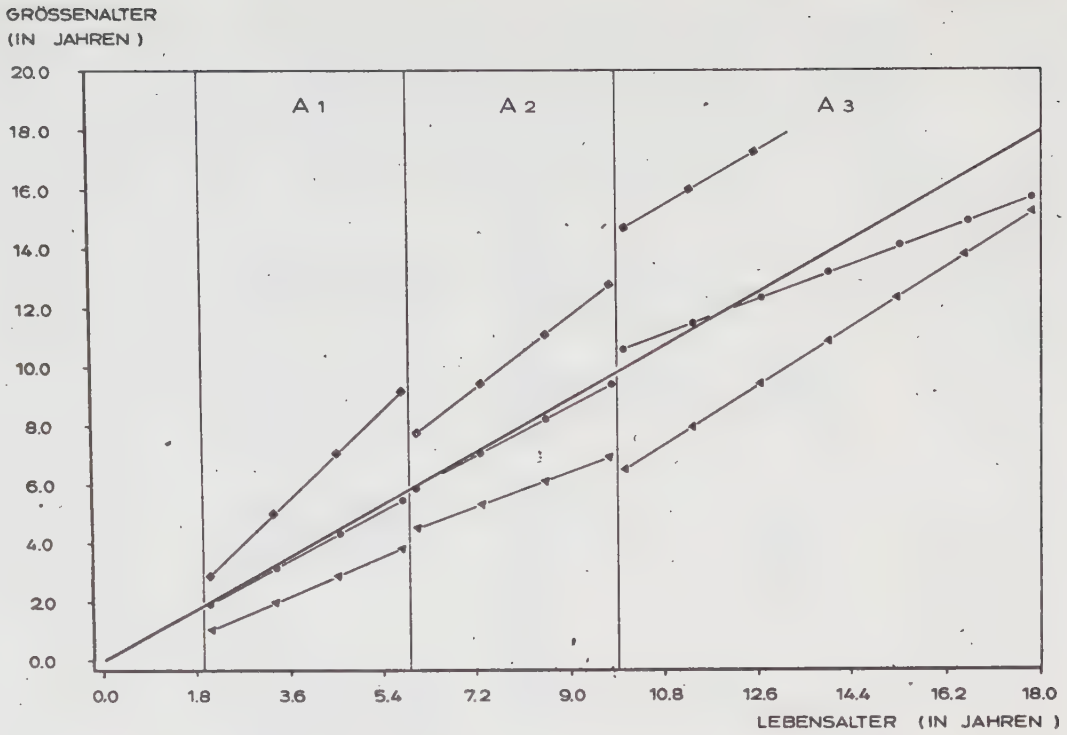

Abb. 30 : Die Regressionsgeraden bei minder-(-▾—▾-), normal-(-•—•-) und großwüchsigen (-▪—▪-) Mädchen (alle drei Altersgruppen einzeln berechnet) als Maß der Geschwindigkeit der Größenzunahme (Grössenalter bezogen auf Lebensalter)

ANHANG: TABELLEN

Tabelle 32: Werte für die Steilheit der Regressionsgeraden (Regressionskoeffizient) und für den Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der senkrechten Achse (Achsenabschnitt) bei minder-, normal- und großwüchsigen Jungen

REGRESSIONSKOEFFIZIENT:

Alter (in Jahren)	Wuchs	Skelettalter TANNER-RUS-Methode	Skelettalter GREULICH-Inspektions-Methode	Größenalter
Kleinkinder (2,0 bis 6,0)	klein	0,89	0,82	0,92
	normal	0,82	0,71	0,97
	groß	1,43	0,88	1,26
junge Schulkinder (6,0 bis 10,0)	klein	1,00	0,79	0,71
	normal	1,06	1,26	1,34
	groß	1,10	1,28	1,14
ältere Schulkind. (10,0 und älter)	klein	1,19	0,94	1,21
	normal	1,23	1,04	0,99
	groß	0,79	0,73	1,19

ACHSENABSCHNITT:

Kleinkinder (2,0 bis 6,0)	klein	-0,48	-0,69	-1,01
	normal	+0,74	+0,54	-0,08
	groß	-1,09	+0,91	+0,34
junge Schulkinder (6,0 bis 10,0)	klein	-1,79	-1,09	-1,01
	normal	-0,45	-2,76	-2,73
	groß	+0,86	-1,28	+1,62
ältere Schulkind. (10,0 und älter)	klein	-4,32	-2,12	-5,93
	normal	-2,88	-1,41	+0,00033
	groß	+4,26	+4,08	+1,14

Tabelle 33: Werte für die Steilheit der Regressionsgeraden (Regressionskoefizient) und für den Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der senkrechten Achse (Achsenabschnitt) bei minder-, normal- und großwüchsigen Mädchen

REGRESSIONSKOEFFIZIENT:

Alter (in Jahren)	Wuchs	Skelettalter TANNER-RUS-Methode	Skelettalter GREULICH-Inspektions-Methode	Größenalter
Kleinkinder (2,0 bis 6,0)	klein	0,65	0,69	0,77
	normal	0,82	0,87	0,95
	groß	1,38	1,29	1,71
junge Schulkinder (6,0 bis 10,0)	klein	0,98	0,88	0,66
	normal	0,77	0,75	0,93
	groß	0,76	0,72	1,36
ältere Schulkind. (10,0 und älter)	klein	0,96	1,03	1,11
	normal	0,94	1,09	0,66
	groß	0,62	0,76	1,03

ACHSENABSCHNITT:

Kleinkinder (2,0 bis 6,0)	klein	+0,63	+0,009	-0,47
	normal	+0,73	+0,26	+0,06
	groß	+0,15	-0,22	-0,56
junge Schulkinder (6,0 bis 10,0)	klein	-1,35	-0,71	+0,61
	normal	+1,68	+1,39	+0,37
	groß	+3,48	+3,18	-0,39
ältere Schulkind. (10,0 und älter)	klein	-0,36	-2,44	-4,59
	normal	+1,36	-1,36	+4,14
	groß	+5,74	+3,17	+4,43

Literaturverzeichnis:

1. Acheson, R.M.: Radiographs of hand as index of skeletal maturity in infants; Arch.Dis.Child. 27, 382-385 (1952)

2. Acheson, R.M.: The Oxford method of assessing skeletal maturity Clin.-Orthop. 10, 19-39 (1957)

3. Acheson, R.M.: Effects of nutrition and disease on human growth Symp. Soc. Human. Biol. 3, 73-92 (1960)

4. Acheson, R.M., Fowler, G.B., Janes, M.D.: Effect of improved care on the predictal adult height of undernourished children. Nature 194, 735-736 (1962)

5. Acheson, R.M., Fowler, G., Fry, E.J., Janes, M., Koski, K., Urban, P., van der Werff ten Bosch, J.J.: Studies in the reliability of assessing skeletal maturity from x-rays. Part I: Greulich-Pyle atlas. Hum. Biol. 35, 317-349 (1963)

6. Acheson, R.M., Vicinus, J.H. and Fowler, G.B.: Studies in the reliability of assessing skeletal maturity from x-rays. Part II: The bone-specific approach. Human. Biol. 36, 211-228 (1964)

7. Acheson, R.M., Vicinus, J.H., Fowler, G.B.: Studies in the reliability of assessing skeletal maturity from x-rays. Part III: Greulich-Pyle atlas and Tanner-Whitehouse method contrasted. Hum. Biol. 38, 204-218 (1966)

8. Ambuel, I.Ph.: The individuality of skeletal growth. Am. J. Dis. Child. 101, 277-278 (1961)

9. Andersen, E.: Comparison of Tanner-Whitehouse and Greulich-Pyle methods in a large scale Danish survey. Am. J. Phys. Anthropol. 35, 373-376 (1971)

10. Anderson, M., Use of the Greulich-Pyle atlas of skeletal development of the hand and wrist in a clinical contest. Am. J. Phys. Anthropol.35, 347-52 (1971)

11. Baer, M.J., Duratz, J.: Bilateral asymmetry in skeletal maturation of the hand and wrist.: a roentgenographic analysis. Am. J. Phys. Anthropol.15, 181-96 (1957)

12. Bailey, C.C. and Komrower, G.M.: Growth and skeletal maturation in congenital adrenal hyperplasia. Arch. Dis. Child. 49, 4-7 (1974)

13. Bayer, L.M., Bayley, N.: Growth Diagnosis: Skeletal methods for interpreting and predicting physical development from one year to maturity. University of Chicago Press, 2. Edit. 10, 17-20 und 43-48 (1976)

14. Bayer, L.M. and Newell, R.R.: The assessment of skeletal development of the hand and knee between the ages of 8 and 14 years. Endocrinology 26, 779-82 (1940)

15. Bayley, N.: Skeletal maturity in adolescence as a basis for determing percentage of completad growth. Child.Dev. 14, 1-64 (1943)

16. Bayley, M.: Tables for predicting adult height from skeletal age and present height. J. Pediatr. 28, 49-64 (1946)

17. Bayley, N. and Pinneau, S.: Tables for predicting adult height from skeletal age: revised for use with the Greulich-Pyle hand standards. J. Pediat. 40, 423-441 (1952)

18. Bierich, J.R.: Die Bedeutung der radiologischen Skelettalterbestimmung für die Klinik. Radiologe 16, 381-90 (1976)

19. Blanksby, B.A., Brogan, W.F., McKnight, H.P., Sprague, P.L.: A skeletal age survey of primary school children in western Australia. Aust.Paediatr. J. 11, 169-71 (1975)

20. Borms, J., Broekhoff, J., Beunen, G.: Vergelijkende studia tussen drie methoden voor het bepalen van de skeletale leeftijd. Arch. Belg. Med. Soc. 31, 343-53 (1973)

21. Buckler, J.M.H.: Comparison of systems of estimating skeletal age. Arch. Dis. Child. 52, 667-68 (1977)

22. Budliger, H., Fendel, H., Morscher, E., Prader, A.: Rundtischgespräch über das Knochenalter. Radiologe 11, 296-99 (1971)

23. Budliger, H. und Prader, A.: Unpublizierte Daten der Züricher longitudinalen Wachstums-Studie. Mai 1972 Zit. n.: 35.: Eveleth, Ph. B. and Tanner, J.M. (1976)

24. Caffey, J.: Pediatric X-ray diagnosis, Chicago, Year Book Medical Publ., 6.th. Edit., Vol. 2, 879-95 (1973)

25. Chan, S.T., Chang, K.S.F., Hau, F.K.: Growth and skeletal maturation of Chinese children in Hongkong. Am. J. Phys. Anthropol. 19, 289-300 (1961)

26. Clarke, H.H., Hayman, N.R.: Reduction of bone assessments necessary for the skeletal age determination of boys. Res. Q. Am. Assoc. Health Phys. Educ. 33, 202-7 (1962)

27. Cobb, W.M.: Choice of area for assessment. Am. J. Phys. Anthropol. 35, 385-86 (1971)

28. Danilowicz, D.A.: Delay in bone age in children with cyanotic congenital heart disease. Radiology. 108, 655-58 (1973)

29. Das Gupta, S.M., Prasad, V., Singh, S.: A roentgenologic study of epiphyseal unio around elbow, wrist and knee joints and the pelvis in boys and girls of Uttar Predesh. J. Indian Med. Assoc. 62, 10-12 (1974)

30. Dreizen, S., Snodgrasse, R.M., Parker, G.S., Currie, C., Spies, T.D.: Maturation of bone centers in hand and wrist of children with chronic nutritive failure. Am. J. Dis. Child. 87, 429-39 (1954)

31. Dreizen, S. Snodgrasse, R.M., Webb-Peploe, H., Parker, G.S., Spies, T.D.: Bilateral Symmetry of skeletal maturation in the human hand and wrist. Am.J.Dis. Child. 93, 122-27 (1957)

32. Dreizen, S., Snodgrasse, R.M., Webb-Peploe, H., Dreizen, J.G., Spies, T.D.: Sites of maturarional strength and weakness in developing hand skeleton. Am. J. Roentgenol., Radium Ther. Nucl. Med. 82, 490-500 (1959)

33. Eklöf, O. and Ringert, M.: A method for assessment of skeletal maturity. Ann. Radiol. 10, 330-36 (1967)

34. Elgemark, O.: Normal development of ossification centers during infancy and childhood: clinical, roentgenologic and statistical study. Acta Paediatr. Scand. (Suppl.) 33, 1-79 (1946)

35. Eveleth, Ph.B. and Tanner, J.M.: Worldwide variation in human growth, Cambridge University Press, Cambridge, (1976)

36. Falkner, F.: Skeletal maturation; an appraisal of concept and method., Am. J. Phys. Anthropol. 16, 381-96 (1958)

37. Fenden, H.: Die Methodik der radiologischen Skelett-alterbestimmung. Radiologe 16, 370-80 (1976)

38. Flecker, H.: Time of appearance and fusion of ossification centers as observed by roentgenographic methods. Am. J. Roentgenol. Radium Ther. Nucl. Med. 47, 97-159 (1942)

39. Forbes, A.P., Hossein, A.R., Majd, M.: Skeletal maturation of children in Shiras, Iran. Am. J. Phys. Anthropol. 35, 449-54 (1971)

40. Fortier-Beaulieu, M.: L'age osseux, Détermination pratique. J. Radiol. Electrol. Med. Nucl. 55, 695-99 (1974)

41. Francis, C.C. and Werle, P.P.: The appearance of centers of ossification from birth to five years. Am. J. Phys. Anthropol. 24, 273-299 (1939)

42. Frisch, R. and Revelle, R.: Variation in body weights and the age of the adolescent growth spurt among Latin American and Asian populations in relation to calorie supplies. Hum.Biol. 41, 185-212 (1969)

43. Fry, E.I.: Health survey of children from Rarorongа, Cook Islands. III: Skeletal age and skeletal observations. J.Trop.Pediat. 6, 75-79 (1960)

44. Fry, E.I.: Assessing skeletal maturity: comparison of the atlas and individual bone techniques. Nature 220, 496-97 (1968)

45. Fry, E.I.: Tanner-Whitehouse and Greulich-Pyle skeletal age velocity comparisons. Am.J.Phys.Anthropol. 35, 377-80 (1971)

46. Garn, S.M. and Rohmann, C.G.: Communalities of the ossification centers of the hand and wrist. Am.J. Phys. Anthropol. 17, 319-23 (1959)

47. Garn, S.M. and Rohmann, C.G.: Variability in oderder of ossification of bony centers of hand and wrist. Am.J.Phys.Anthropol. 18, 219-30 (1960)

48. Garn, S.M. and Rohmann, C.G.: The number of hand-wrist centers. Am.J.Phys.Anthropol. 18, 293-99 (1960)

49. Garn, S.m., Rohmann, C.G. and Apfelbaum, B.: Complete epiphyseal union of hand. Am.J.Phys.Anthropol. 19, 365-72 (1961)

50. Garn, S.M., Rohmann, C.G. and Robinow, M.: Increments in hand-wrist ossification. Am.J.Phys.Anthropol. 19, 45-53 (1961)

51. Garn, S.M., Rohmann, C.G. and Wallace, D.K.: Association between alternate sequences of hand-wrist ossification. Am.J.Phys.Anthropol. 19, 361-64 (1961)

52. Garn, S.M. and Rohmann, C.G.: X-linked inheritance of developmental timing in man. Natura 196, 695-96 (1962)

53. Garn, S.M., Rohmann, C.G. and Davis, A.A.: Genetics of hand-wrist ossification. Am.J.Phys.Anthropol. 21, 33-40 (1963)

54. Garn, S.M., Silverman, F.N. and Rohmann, C.G.: A rational approach to assessment of skeletal maturation. Ann.Radiol. 7, 297-307 (1964)

55. Garn, S.M., Rohmann, C.G. and Silverman, F.N.: Radiographic standards for postnatal ossification and tooth calcification. Med.Radiogr. 43, 45-66 (1967)

56. Garn, S.M., Poznanski, A.K. and Nagy, J.M.: The operational meaning of maturity criteria. Am.J.Phys. Anthropol. 35, 319-26 (1971)

57. Gefferth, K.: Ein Verfahren zur Bestimmung des biologischen Knochenalters. Acta Paediatr. Acad. Sci. Hung. 11, 59-66 (1970)

58. Grahman, C.B.: Assessment of bone maturation-methode and pitfalls. Radiol.Clin.North.Am. 10, 185-202 (1972)

59. Grau, U., Klaus, F.: Das Skelettalter nach Tanner-Whitehouse und die sogenannte körperliche Schulreife. Prax.Kinderpsychiatr. 24, 94-101 (1975)

60. Gray, H.: Prediction of adult stature. Child.Dev. 19, 167-75 (1948)

61. Greulich, W.W.: The rationale of assessing the developmental status of children from roentgenograms of the hand and wrist. Child.Dev. 21, 33-44 (1950)

62. Greulich, W.W.: The growth and developmental status of Guamanian school children in 1947. Am.J.phys.Anthropol. 9, 55-70 (1951)

63. Greulich, W.W.: A comparison of the physical growth and development of American-born and nature Japanese children. Am.J.Phys.Anthropol. 15, 489-515 (1957)

64. Greulich, W.W. and Pyle, S.I.: Radiographic atlas of skeletal Development of the hand and wrist. Stanford Univ.-Press., Stanford, California, (1959) (reprinted 1966)

65. Grøn, A.M., Medicus, M.: Reproducibility of rating bone development (Tanner-Whitehouse System). Am.J. Orthop. 60, 201-2 (1971)

66. Haas, J.D., Hunt jr., E.E. and Buskirk, E.R.: Skeletal development of nonistitutionalized children with low intelligence quotients. Am.J.Phys.Anthropol. 35, 455-66 (1971)

67. Haavikko, K.: Skeletal age estimated in a few selected ossification centres of the hand wrist. A simple method for clinical use. Proc.Finn.Dent.Soc. 70, 7-14 (1974)

68. Hansman, C.F.: Appearance and fusion of ossification centers in the human skeleton. Am.J.Roentgenol.Radium Ther.Nucl.Med. 88, 476-82 (1962)

69. Hansman, C.F. and Maresh, M.M.: A longitudinal study of skeletal maturation. Am.J.Dis.Cild. 101, 305-21 (1961)

70. Harding, V.S.V.: A method of evaluating osseous development from birth to 14 years. Child Dev. 23, 247-71 (1952)

71. Harnack, G.-A. von, Tanner, J.M., Whitehouse, R.H. and Rodriguez, C.A.: Catch-up in height and skeletal maturity in children on long-term treatment for hypothyroidism. Z.Kinderheildk. 112, 1-17 (1972)

72. Harnack, G.-A. von: Reifebestimmung des Skeletts im Kindesalter Z.Geburtshilfe Perinatol. 178, 237-44 (1974)

73. Hartung, K.: Strahlenbelastung und Strahlenschutz in der pädiatrischen Röntgendiagnostik. Thieme-Verlag, Stuttgart (1959)

74. Hewitt, D. and Acheson, R.M.: Some aspects of skeletal development through adolscence. I.: Variations in the rate and pattern of skeletal maturation at puberty. Am.J.Phys.Anthropol. 19, 321-31 (1961)

75. Hölscher, A.: Die Größenvorhersage bei Kindern. Anwendung der Bayley-Pinneau Methode bei gesunden deutschen Kindern und verschiedenen Erkrankungen anhand einer retrospektiven Untersuchung. Med.Diss. Göttingen (1973)

76. House, R.: A summery of 49 radiologists: opinions on the skeletal age limits of apparently normal six year old children. Am.J.Roentgenol.Radium Ther.Nucl. Med. 64, 442-45 (1950)

77. Jeanneret, O.: Études statistiques sur la maturation ossue de la main et du poignet d'après les radiographies de 315 jeunes Francais normaux agés de 8 á 14 ans. J.Genet.Hum. 10, 20.58 (1961)

78. Johnson, G.F., Dorst, J.P., Kuhn, J.P., Roche, A.F., D'Avila, G.H.: Reliability of skeletal age assessments. Am.J.Roentgenol.Radium Ther. Nucl. Med. 118, 320-27 (1973)

79. Johnston, F.E.: Skeletal age and its prediction in Philadelphia childrens. Hum.Biol. 35, 192-202 (1963)

80. Johnston, F.E.: The relationship of certain growth variables to chronological and skeletal age. Hum. Biol. 36, 16-27 (1964)

81. Johnston, F.E.: The use of the Greulich-Pyle method in a longitudinal growth study. Am.J.Phys.Anthropol. 35, 353-57 (1971)

82. Johnston, F.E. and Jahina, S.B.: Contribution of the carpal bones to the assessment of skeletal age. Am.J.Phys.Anthropol. 23, 349-54 (1965)

83. Kapalin, V.: Das Knochenalter - seine Bewertung und normale Entwiclung bei Kindern des Vorschul- und Schulalters (Tschechisch). Cs.Hyg. 12, 233 (1967) (zit. n. 115.: Pelech, L.Pechstein, J.: Ärztl. Jugendkd. 67, 23-8 (1976)

84. Keller, E.E., Sather, A.H., Hayles, A.B.: Dental and skeletal development in various endocrine and metabolic diseases. J.Am.Dent.Assoc. 81, 415-19 (1970)

85. Kelley, H.J., Macy, I.G.: Roentgenographic appraisals of skeletal growth and development; reliability and influencing factors. Am.J.Roentgenol.Radium Ther. Med. 80, 482-94 (1958)

86. Kimura, K.: On the skeletal maturation of Janpanese-American white hybrids. Am.J.Phys.Anthropol. 44, 83-89 (1976)

87. Kimura, K.: Skeletal maturity of the hand and wrist in Japanese children by the TW2 Method. Ann.Hum.Biol. 4, 353-56 (1977)

88. Konrad, R.M.: Die Entwicklung des Handwurzel-Skeletts bei Kindern mit konnatalen Angiokardiopathien. Zentralbl. Chir. 82, 1226-34 (1957)

89. Kopczynska, J.: Détermination Radiologique des la Maturation osseuse. Ann.Radiol. 7, 308-14 (1964)

90. Koski, K., Haataja, J., Lappalainen, M.: Skeletal development of hand and wrist in Finnish children. Am.J.Phys.Anthropol. 19, 379-82 (1961)

91. Laubenberger, Th.: Leitfaden der medizinischen Röntgendiagnostik. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln, 2.Aufl. 23, (1977)

92. Lee, M.M.C., Rohmann, C.G. and Wiggins, P.: Skeletal maturity and total number of ossification centers present in hand and wrist of Chinese children. Am.J. Phys.Anthropol. 25, 202-202 (1966)

93. Lee, M.M.C.: Maturation diparity between hand-wrist bones in Hongkong-Chinese children. Am.J.Phys. Anthropol. 34, 385-95 (1971)

94. Lee, M.M.: Problems in combining skeletal age for an individual. Am.J.Phys.Anthropol. 35, 395-98 (1971)

95. Lefebvre, J., Koifman, A.: Etude de l'apparition des joints osseux secondaire et determination de lâge osseeux. Arch.Fr.Pediatr. 13, 1101-05 (1956)

96. Lenz, W.: Wachstum und körperliche Entwicklung:in Opitz, H. und Schmid, F.: Handbuch der Kinderheilkunde, Springer-Verlag, Berlin Band I, 1, 33-99 (1971)

97. Levine, E.: The contributions of the carpal bones and the epiphyseal centres of the hand to the assessment of skeletal maturity. Hum.Biol. 44, 317-27 (1972)

98. Liliequist, B., Lundberg, M.: Skeletal and tooth development methodologic investigation. Acta Radiol. (Diagn.) (Stockh.) 11, 97-112 (1971)

99. Long, E. and Caldwell, E.W.: Some investigations concerning the relation between carpal ossification and physical and mental development. Am.J.Dis.Child. 1, 113-138 (1911)

100. Low, W.D.: Assessing skeletal maturity by inspection and bone-specific Methode with the atlas of Greulich-Pyle. Z.Morphol. Anthropol. 67, 1-5 (1975)

101. Low, W.D., Chan, S.T., Chang, K.S.F., Lee, M.M.C.: Skeletal maturation of southern Chinese children. Child. Dev. 35, 1313-36 (1964)

102. Mainland, D.: Evaluation of skeletal age method of estimating children's development. I.: Systematic errors in assessment of roentgenograms. Pediatrics 12, 114-28 (1953)

103. Mainland, D.: Evaluation of skeletal age method of assessing children's development. II.: Variable errors in assessment of roentgenograms. Pediatrics 13, 165-73 (1954)

104. Mainland, D.: Evaluation of the skeletal age method of estimating children's development. Part III: Comparison of measurement and inspection in the assessment of roentgenograms. Pediatrics 20, 979-92 (1957)

105. Malina, R.M.: A consideration of factors underlying the selection of methods in the assessment of skeletal maturity. Am.J.Phys.Anthropol. 35, 341-46 (1971)

106. Maresh, M.M.: Variations in patterns of linear growth and skeletal maturation. J.Amer.Phys.Therap.Ass. 44, 881-90 (1964)

107. Medicus, H., Gron, A.M., Moorrees, C.F.: Reproducibility of rating stages of osseous development (Tanner-Whitehouse system). Am.J.Phys.Anthropol. 35, 359-72 (1971)

108. Mellits, E.D., Dorst, J.P., Cheek, D.B.: Bone age: ist contribution to the prediction of maturational or biological age. Am.J.Phys.Anthropol. 35, 381-84 (1971)

109. Moed, G., Wight, B.W., Vandegreft, H.N.: Studies of physical disabilitiy: reliability of measurement of skeletal age from hand films. Child.Dev. 33, 37-41 (1962)

110. Moll, H.: Das Röntgenbild der Hand. Diagnostische Verwendbarkeit. Pädiat.Prax. 2, 107-22 (1963)

111. Moore, W.M.: Comparability in skeletal maturation research. Am.J.Phys.Anthropol. 35, 411-15 (1971)

112.: Munk, A.: Die Kerngröße der Handwurzelknochen und des distalen Unterarmabschnitts bei normalwüchsigen Kindern von der Geburt bis zur Pubertät. Arch.Kinderheilkd. 80, 185-94 (1927)

113. Marray, J.R., Bock, R.D., Roche, A.F.: The measurement of skeletal maturity. Am.J.Phys.Anthropol. 35, 327-30 (1971)

114. Pechstein, J., Beth, B., Göttel, K., Pelech, L.: Untersuchungen zur Strahlenbelastung bei der röntgenologischen Handskelettuntersuchung von Kindern. Fortschr.Med. 88, 805-08 (1970)

115. Pelech, L., Pechstein, J.: Vergleichende Untersuchungen über die Entwicklung des Skelettalters bei Tschechischen und Süddeutschen Kindern. Ärztl. Jugendkd. 67, 23-28 (1976)

116. Poznanski, A.K.: The Hand in radiologic diagnosis. Verlag W.B. Saunders, Comp., Philadelphia Chapter 3: Skeletal Maturation, 50-64 (1974)

117. Prader, A., Tanner, J.M. and Harnack, G.-A. von: Catch-up growth foolowing illness or starvation. A example of developmental canalization in man. J. Pediatr. 62, 646-659 (1963)

118. Prakash, S.: Age and order of appearance of elbow and hand-wrist ossific centres in Punjabee children from Rohtak. Indian, J. Med. Res. 63, 640-51 (1975)

119. Pryor, J.W.: Time of ossification of the bones of the hand of male and female, and union of the epiphyses with the diaphyses. Am.J.Phys.Anthropol. 8, 401-10 (1925)

120. Puccinelli, A.D., Laurant, G., Crehalet, Y.L.: Determination simplifice de lâge asseux a partier de la face du grand os. J.Radiol.Electrol.Med.Nucl. 54, 57-60 (1973)

121. Pyle, S.I., Sontag, L.W.: Variability in onset of ossification in epiphyses and short bones of extemities. Am.J.Roentgenol.Radium.Ther.Nucl.Med. 49, 795-98 (1943)

122. Pyle, S.I., Mann, A.W., Driezen, S., Kelly, J., Macy, J.G., Spies, T.D.: A substitute for skeletal age (Todd) for clinical use: the red graph method. J.Pediatr. 32, 125-36 (1948)

123. Pyle, S.I., Peed, R.B., Stuart, H.C.: Patterns of skeletal development in the hand. Pediatrics 24, 886-903 (1959)

124. Pyle, S.I. and Hoerr, N.L.: A radiographic Standard of reference for the growing knee. Verlag C.C.Thomas, Springfield, 2nd Edit. (1969)

125. Ranke, H. von: Ossifikation der Hand unter Röntgenbeleuchtung: Verhandlg. Dtsch.Ges.Kinderheilkunde, Düsseldorf 1898. Verlag Bergmann, Wiesbaden 138-52 (1899)

126. Reynolds, E.L., Asakawa, I.: Skeletal development in Infancy. Am.J.Roentgenol.Radium Ther.Nucl.Med. 65, 403-10 (1952)

127. Roche, A.F.: Lateral comparisons of the skeletal maturity of the human hand and wrist. Am.J.Roentgenol. Radium Ther.Nucl. Med. 89, 1272-80 (1963)

128. Roche, A.F.: Clinical applications of skeletal age assessments. Aust.Paediatr.J. 1, 6-11 (1965)

129. Roche, A.F.: A study of skeletal maturation in a group of Melbourne children. Aust.Paediatr.J. 3, 123-27 (1967)

130. Roche, A.F.: Associations between the rates of maturation of the bones of the hand-wrist. Am.J.Phys. Anthropol. 33, 341-48 (1970)

131. Roche, A.F.: Sunderland,S.: Melbourne university child growth study. Med.J.Aust. 46, 559-62 (1959)

132. Roche, A.F., Johnson, J.M.: A comparison between methods of calculating skeletal age (Greulich-Pyle). Am.J.Phys.Anthropol. 30, 221-29 (1969)

133. Roche, A.F., Wettenhall, H.N.B.: The prediction of adult stature in tall girls. Aust.Paediatr.J. 5, 13-22 (1969)

134. Roche, A.F., Davila, G.H., Pasternak, B.A., Walton, M.J.: Some factors influencing the replicability of assessment of skeletal maturity (Greulich-Pyle). Am. J.Roentgenol.Radium Ther.Nucl.Med. 109, 299-306 (1970)

135. Roche, A.F., French, N.Y.: Differences in skeletal maturity levels between the knee and hand. Am.J. Roentgenol.Radium Ther.Nucl.Med. 109, 307-321 (1970)

136. Roche, A.F., Rohmann, C.G., French, N.Y., Davila, G.H.: Effect of training on replicability of assessments of skeletal maturity (Greulich-Pyle). Am.J.Roentgenol. Radium Ther.Nucl.Med. 108, 511-15 (1970)

137. Roche, A.F.: A comparison between Greulich-Pyle and Tanner-Whitehouse assessments of skeletal maturity. Radiology 98, 273-80 (1971)

138. Roche, A.F., Eyman, S.I., Davila, G.H.: Skeletal age prediction. J.Pediatr. 78, 997-1003 (1971)

139. Roche, A.F., Davila, G.H.: Late adolescent growth in stature. Pediatrics 50, 874-80 (1972)

140. Roche, A.F., Wainer, H., Thissen, D.: Predicting adult stature for individuals. Monogr. Paediatr. 3, (1975)

141. Roche, A.F., Wainer, H., Thissen, D.: The RWT for the prediction of adult stature. Pediatrics 56, 1026-33 (1975)

142. Roche, A.F., Davila, G.H.: The reliability of assessments of the maturity of individual hand-wrist bones. Hum.Biol. 48, 585-97 (1976)

143. Ryba, W., Hedvall, G., Carlgren, L.-E.: Skeletal age of children with congenital heart disease. Acta Paediatr. Scand. (Suppl.) 177, 83 (1967)

144. Sauvegrain, J., Nahum, H., Carle, F.: La maturation osseuse. Interet de la determination de l'age osseux. Methods d'evaluation (revue generale). Ann.Radiol. 5, 535-41 (1962)

145. Sauvegrain, J., Nahum, H., Bornstein, H.: Etude de la maturation osseuse du coude. Son application a la determination de l'age osseux. Ann.Radiol. 5, 542-50 (1962)

146. Schinz, H.R., Baensch, W.E., Friedl, E., Uehlinger, E.: Lehrbuch der Röntgendiagnostik. Verlag Thieme, Stuttgart 5. Auflage, Band 1, 118-145 (1950)

147. Schmid, F.: Untersuchungsmethoden der Stützgewebe: in Opitz, H. und Schmid, F. (Ed.): Handbuch der Kinderheilkunde, Verlag Springer, Berlin, Band 6, 62-73 (1967)

148. Schmid, F.: Handskelettdiagnostik im Kindesalter. Folge 1: Norm und Variation der Ossifikation. Fortschr. Med. 88, 1206-08 (1970)

149. Schmid, F.: Handskelettdiagnostik im Kindesalter. Folge 7: Handskelettossifikation. Auswirkungen von endokrinen Störungen auf die Handskelettossifikation Fortschr.Med. 89, 381-83 (1971)

150. Schmid, F.: Zur Diagnostik des Skelettalters. Die Ossifikation als Indikator der Entwicklung. Kinderarzt 5, 319-20 (1974)

151. Schmid, F., Moll, H.: Atlas der normalen und pathologischen Handskelettentwicklung. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg (1960)

152. Schoen, E.J., Solomon, I.J., Milkovich, J.: Bone age in short boys and tall girls. Am.J.Dis.Child. 119, 252-54 (1970)

153. Schulte-Brinkmann, W., Konrad, R.M., Ehlers, F.: Vergleichende Untersuchungen zur linearen und planimetrischen Messung von Handwurzelknochen. Fortschr. Geb.Roentgenstr.Nuklearmed. 104, 253-59 (1966)

154. Seelentag, W., Numberger, J., Knorr, D., Kolber, C.: Zur Frage der genetischen Belastung der Bevölkerung durch die Anwendung ionisierender Strahlen in der Medizin. 4.: Die Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik im Kindesalter. Strahlentherapie 107, 537-55 (1958)

155. Seelentag, W., Seelentag-Lupp, E., Klotz, E.: Zur Frage der genetischen Belastung der Bevölkerung durch die Anwendung ionisierender Strahlen in der Medizin 5. Teil: Werte und Schwankungsbreiten von Untersuchungsfrequenzen und gemessenen Dosen in zehn großen und kleinen Krankenhäusern und in der freien röntgenologischen Praxis. Strahlentherapie 111, 435-67 (1960)

156. Simmons, K., Greulich, W.W.: Menarcheal age and the height, weight and skeletal age of girls age 7 to 17 years. J.Pediatr. 22, 518-48 (1943)

157. Sproul, A., Peritz, E.: Assessment of skeletal age in short and tall children. Am.J.Phys.Anthropol. 35, 433-39 (1971)

158. Stettner, E.: Über die Beziehungen der Ossifikation des Handskeletts zu Alter und Längenwachstum bei gesunden und kranken Kindern von der Geburt bis zur Pubertät. Arch.Kinderheilk. 68, 342-466 (1920)$

159. Stettner, E.: dto.: Schulß. Arch.Kinderheilkd. 69, 27-62 (1921)

160. Stini, W.A.: Nutritional stress an growth: sex difference in adaptive response. Am.J.Phys.Anthropol. 31, 417-26 (1969)

161. Stuart, H.C., Pyle, S.I., Cornoni, J., Reed, R.B.: Onsets, completions and spans of ossification in 29 bone growth centers of the hand and wrist. Pediatrics 29, 237-49 (1962)

162. Sutow, W.W.: Skeletal maturation in healthy Japanese children, 6 to 19 years of age. Comparison with skeletal maturation in American children. Hiroshima J. Med.Sci. 2, 181-91 (1953)

163. Sutow, W.W., Ohwada, K.: Skeletal Standards of healthy Hapanese children from age 6 to 19 years. Clinical Pediatrics (Japanisch) 6, 11 (1953) zit. nach 64: Greulich, W.W., Pyle, S.I.: Radiographic atlas of skeletal Development of the hand and wrist. Stanford Univ.Press, Stanford, California (1966)

164. Tanner, J.M., Healy, M.J.R., Lockhart, R.D., Mackenzie, J.D., Withehouse, R.H.: Aberdeen growth study. I.: The prediction of adult body measurements taken each year from birth to 5 years. Arch.Dis.Child. 31, 372-381 (1956)

165. Tanner, J.M., Prader, A., Habich, H., Ferguson-Smith, M.A.: Genes on the Y-chromosome influencing rate of maturation in men: skeletal age studies in children with Klinefelter's (XXY) and Turner's (XO) syndroms. Lancet 2, 141-44 (1959)

166. Tanner, J.M., Whitehouse, R.H., Healy, M.J.R.: A new system for estimating skeletal maturity from the hand and wrist, with standard derived from a study of 2600 healthy British children. II.: The scoring system. Paris, Int.Child.Centre (1962)

167. Tanner, J.M.: Wachstum und Reifung des Menschen. Thieme-Verlag, Stuttgart (1962)

168. Tanner, J.M.: the essential charakteristics of a rating systems. Am.J.Phys.Anthropol. 35, 339-40 (1971)

169. Tanner, J.M., Whitehouse, R.H., Marshall, W.A., Healy, M.J.R., Goldstein, H.: Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW 2-Method) Verlag Academic Press, London-New York, San-Francisco (1975)

170. Taranger, J., Bruning, B., Claesson, I., Karlberg, P., Landstroim, B.: Skeletal development from birth to 7 years. Acta Paediatr.Scand. (Suppl.) 258, 98-108 (1976)

171. Taranger, J., Bruning, B., Claeson, I., Karlberg, P., Landstroem, T., Lindström, B.: A new method for the assessment of skeletal maturity - the MAT-method (mean appearance time of bone stage). Acta Paediatr. Scand. (Suppl.) 258, 109-20 (1976)

172. Tissala, R., Kantero, R.-L.: Studies on growth of Finnish children from birth to 10 years. VII.: some parent - child correlations for height, weight and skeletal age up to 10 years. Acta Paediatr.Scand. (Suppl.) 220, 42-48 (1971)

173. Tissala, R., Kantero,R.-L., Tamminen, T.: A mixed longitudinal study on skeletal maturation in healthy Finnish children aged 5 to 10 years. Hum.Biol. 43, 224-36 (1971)

174. Todd, T.W.: Atlas of skeletal maturation. Part I.: Hand. Verlag C.V.Mosby Co., St.Louis (1937)

175. Trulson, M.E., Collazos, C., Hegsted, D.M.: Growth and development of Peruvian children. I. Carquin and San Nicholas. Pediatrics 17, 510-22 (1956)

176. Vukovic, D.: Wachstum und Entwicklung der adipösen Kinder. Kinderaerztl. Praxis 40, 185-89 (1972)

177. Walker, R.N.: Standards for somatotyping children: I.: Prediction young adult height from children's growth data. Ann.Hum.Biol. 1, 149-58 (1974)

178. Weiner, J.S., Thambipillai, V.: Skeletal maturation of West-African negroes. Am.J.Phys.Anthropol. 10, 407-18 (1952)

179. Wieringen, J.C. van, Wafelbakker, F., Verbrügge, H.P., Haas, J.J. de: Growth diagrams 1965 Netherlands. Verlag Wolters-Noordhoff, Groningen (1971)

Herrn Professor Dr. G.-A. von Harnack, geschäftsführender Direktor der Universitäts-Kinderklinik Düsseldorf, danke ich für die Überlassung des Themas sowie für die wertvollen Anregungen und Hinweise bei der Ausführung der Arbeit.
Herrn Professor Dr. H.-J. Jesdinski, Direktor des Institus für Medizinische Statistik und Biomathematik der Universität Düsseldorf, bin ich für sein stets freundliches Entgegenkommen bei den statistischen Beratungen und bei der Durchführung der statistischen Berechnungen zu großem Dank verpflichtet.
Meinen ehemaligen Mitarbeitern in der Röntgenabteilung der Universitäts-Kinderklinik Düsseldorf, Herrn Dr. med. W. Höhn und Herrn Dr. med. M. Adler, danke ich für ihre selbstverständliche Bereitschaft zur Auswertung von Röntgenaufnahmen der linken Hand zur Bestimmung des Intra- und Interbeurteiler-Fehlers.

Bei den Röntgenassistentinnen der Röntgenabteilung der Universitäts-Kinderklinik Düsseldorf, insbesondere der leitenden Assistentin, Frau E. Krause, möchte ich mich für die Mithilfe bei der Beschaffung und Sichtung der erforderlichen Patientenunterlagen und die Anfertigung der Röntgenbildkopien sowie der Abbildungen bedanken.
Der Firma Agfa-Gevaert, Verkaufsbüro Düsseldorf, danke ich sehr für die Überlassung von Kopierfilmen zur Anfertigung von Röntgenbildkopien der verwendeten Röntgenaufnahmen der linken Hand.